

# Procesos cognitivos

## Modelos y bases neurales



Edward E. Smith
Stephen M. Kosslyn



# Procesos cognitivos: modelos y bases neurales

# Procesos cognitivos: modelos y bases neurales

**Edward E. Smith**
*Department of Psychology Columbia University*

**Stephen M. Kosslyn**
*Department of Psychology Harvard University*

**Con la colaboración de:**
Lawrence W. Barsalou
Marlene Behrmann y Joy Geng
Todd S. Braver
Jean Decety y Jessica Sommerville
Kevin Dunbar y Jonathan Fugelsang
Reid Hastie y Alan Sanfey
Maryellen C. MacDonald
Elizabeth Phelps
Adriane E. Seiffert, Jeremy M. Wolfe y Frank Tong
Anthony D. Wagner

Traducción y revisión técnica:
**María José Ramos Platón**
*Universidad Complutense de Madrid*




Harlow, England • London • Madrid • Munich • Paris • Milan • New York • Boston • San Francisco • Toronto
Sydney • Tokio • Singapore • Hong Kong • Seoul • Taipei • New Delhi • Cape Town • Mexico City • Amsterdam

Datos de catalogación bibliográfica

**Edward E. Smith** y **Stephen M. Kosslyn**
*Procesos cognitivos: modelos y bases neurales*

PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2008

ISBN: 978-84-8322-396-3
Materia: 159.91 Psicofisiología

Formato 195 × 250 mm Páginas: 664


Ribera del Loira, 28
28042 Madrid (España)

**Edward E. Smith** y **Stephen M. Kosslyn**
*Procesos cognitivos: modelos y bases neurales*

**ISBN: 978-84-8322-396-3**
Depósito legal: M.

PEARSON PRENTICE HALL es un sello editorial autorizado de PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

**Equipo editorial:**
**Editor:** Alberto Cañizal
**Técnico editorial:** Elena Bazaco

**Equipo de producción:**
**Director:** José Antonio Clares
**Técnico:** José Antonio Hernán

**Diseño de cubierta:** Equipo de diseño de Pearson Educación S. A.

**Composición:** COPIBOOK, S. L.

**Impreso por:**

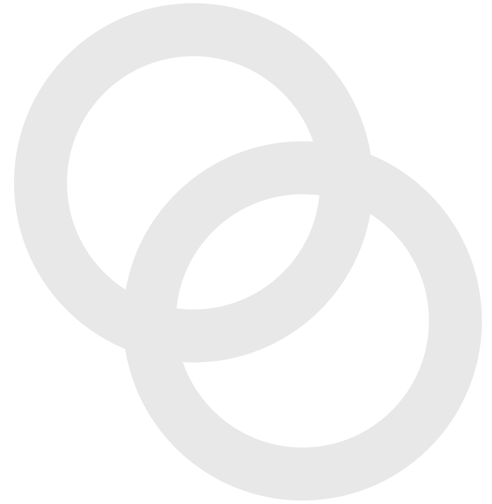
IMPRESO EN ESPAÑA - PRINTED IN SPAIN

Este libro ha sido impreso con papel y tintas ecológicos

# Contenido



# Prefacio



El estudio de la cognición ha progresado considerablemente durante la última década; sin embargo, en la actualidad no se dispone de libro alguno que resuma y haga accesibles los nuevos datos y teorías clave. Consideramos de una manera nueva el campo y lo presentamos tal como se ejerce hoy en día. Al hacerlo, nuestro libro presenta dos características principales, distintivas.

En primer lugar, gran parte del reciente progreso en el estudio de la cognición procede de la llegada de la Neurociencia cognitiva, que utiliza datos y métodos neurocientíficos para afrontar cuestiones psicológicas. Éste es el primer libro de texto que incorpora por completo la Neurociencia al estudio de la cognición. En lugar de sólo presentar datos y hallazgos de la Neurociencia en sí mismos, o de referir contribuciones de la Psicología cognitiva junto con contribuciones de la Neurociencia, utilizamos los hallazgos de la Neurociencia para aclarar y razonar distinciones clave en Psicología cognitiva.

En concreto, examinamos descubrimientos relativos a las bases neurales de la cognición procedentes de estudios de neuroimagen, de pacientes con daño cerebral, de registros unicelulares, de señales eléctricas y magnéticas y de efectos farmacológicos selectivos en la cognición. Nos valemos de dichos datos para argumentar que los procesos o las representaciones utilizadas en dos tareas (por ejemplo, imágenes mentales y percepción) son similares o diferentes y que ciertas explicaciones de fenómenos son posibles (por ejemplo, el papel de las emociones implícitas en las «corazonadas»). Además, en algunos casos usamos los descubrimientos neurocientificos sólo para concretar lo que de otro modo podría parecer un proceso demasiado abstracto (por ejemplo, la «codificación»), analizando cómo se ejecuta a nivel neural y cómo funciona dentro del sistema total. En otros casos empleamos los resultados neurocientíficos como una nueva manera de enfocar un antiguo problema (por ejemplo, sistemas de memoria distintos para la información visual de carácter espacial y la relativa al objeto). Pero este libro no se centra en la Neurociencia. Hemos escrito un libro de *Psicología cognitiva* que se basa en la Neurociencia.

En segundo lugar, ha habido un cambio gradual en el «paradigma» de enfoque de la cognición, incluyendo el orden en el cual los procesos cognitivos entran en juego,

así como en lo que constituye un proceso cognitivo. En este libro utilizamos dicho consenso emergente como un elemento de organización. Concretando, casi todos los libros de texto previos se basan en la estructura organizativa establecida por Donald Broadbent a finales de 1950. Según este enfoque, la información primero se procesa de modo perceptivo, luego ingresa en la memoria a corto plazo, y luego en la memoria a largo plazo; posteriormente la información puede recuperarse de la memoria a largo plazo y volver a la memoria a corto plazo, si es preciso. Sin embargo, los investigadores activos en el campo han cambiado hace tiempo esta idea. Por ejemplo, se sabe que la información ha de ingresar en la memoria a largo plazo antes de que se pueda identificar un estímulo, antes de que el estímulo pueda hacerse «significativo». Y también se sabe que la información en la memoria a corto plazo es, sin duda, «significativa». Así pues, el contenido de la memoria a corto plazo ha de provenir, por regla general, de la memoria a largo plazo —y no a la inversa—. De hecho, el concepto mismo de «memoria a corto plazo» se ha reemplazado por el concepto de «memoria operativa»[1], que ahora se considera consustancial al pensamiento en sí mismo (y no sólo como otro sistema de memoria). Además, en la actualidad se reconoce que la atención y la emoción desempeñan un papel clave modulando la operación de procesamiento de la información (y, por lo tanto, se conceptúa la emoción como parte del campo); y finalmente se reconoce la importancia no sólo del *input*[2] sino también del *output*[3] (y, por lo tanto, se conceptúa el control motor como parte del campo).

Cuando comenzamos a planear el bosquejo apropiado de este libro, elaboramos una heurística que más tarde indicó que se requería un nuevo modo de enfocar la cognición. Descompusimos detalladamente «dos minutos en la vida de un estudiante». En particular, analizamos qué ocurre cuando un estudiante abre la puerta de una habitación para incorporarse a una fiesta y ve a una persona atractiva. Según analizábamos la «cognición en el mundo real» nos dimos cuenta de que necesitábamos capítulos sobre la percepción, la atención y, luego —una característica relativamente exclusiva de este libro— un capítulo sobre la representación en la memoria a largo plazo (esencial para atribuir un significado al *input*). También nos dimos cuenta de que algunos fragmentos de la información activada se transfieren a la consciencia para que sean considerados deliberadamente. Estas observaciones nos llevaron a decidir que en primer lugar deberíamos presentar un capítulo sobre la codificación/recuperación de la memoria a largo plazo y luego otro sobre la memoria operativa. Siguiente cuestión: ¿y en lo que respecta a las reacciones emocionales frente a las personas, la comida, y el estrépito de la música de fiesta? Rompiendo otra vez con la tradición, decidimos que un capítulo sobre la emoción debería ser fundamental en un libro que resume el estudio de cognición tal como se realiza hoy en día.

Por otra parte, el repertorio de información activada —que se basa en recuperar en la memoria operativa la información previamente codificada en la memoria a largo plazo— lleva a que se tengan que tomar decisiones. Si hay obstáculos para tomar decisiones, hay que dedicarse a planificar y resolver problemas. Quizá uno decide hablar con un amigo determinado, pero otras personas se interponen en el camino. ¿Cómo sortearlas sin tropezarse bruscamente con alguien, desviándose ante una conversación no deseada y sin molestar a nadie? Así pues, incluimos capítulos sobre el control ejecutivo (otra característica excepcional en un libro de texto de Psicología cognitiva),

[1] También llamada «memoria de trabajo» (*working memory*). (*N. del T.*)
[2] Entrada de información a un centro o sistema neural. (*N. del T.*)
[3] Salida de información. (*N. del T.*)

la toma de decisiones, la resolución de problemas, la cognición motora y la simulación (otra característica novedosa de este libro). Finalmente, después de llegar hasta el amigo, el estudiante entablará una conversación. Así pues, necesitábamos considerar el lenguaje.

Al principio tuvimos la idea de utilizar esta instantánea de «dos minutos» como hilo conductor de todo el libro. Pero pensándolo detenidamente, resultaba forzado. Lo que funcionaba bien en nuestras discusiones podría no funcionar del todo en el libro. En lugar de ello, cada capítulo se inicia con una actividad o un acontecimiento diferente que ilustra el tema del capítulo.

El objetivo de este libro es ayudar a los estudiantes a dominar los estudios clásicos combinados con un nuevo trabajo apasionante; ambos ilustran los conceptos clave del campo. El objetivo no es revisar cada área en *todos* sus detalles. Para ayudar a los estudiantes a aprender, el libro está lleno de ejemplos cotidianos, ilustraciones actuales y analogías vívidas. En cada capítulo incluimos asimismo un apartado de *Debate* para resaltar que el campo es una entidad viva, en continua evolución; así como un apartado titulado *Una visión más detenida,* que nos permite partir de cero y profundizar en el estudio. También incluimos unos objetivos de aprendizaje así como un resumen y unas preguntas de reflexión crítica (Repaso y Reflexión).

Este libro tiene una historia poco frecuente. Muy pronto nos enfrentamos al hecho de que no éramos expertos en todas las áreas de la nueva Psicología cognitiva y por tanto decidimos conseguir la ayuda de reconocidos investigadores en las diferentes áreas. No obstante, también éramos conscientes de que teníamos que escribir un libro y no editar una recopilación de capítulos independientes. Así pues, nos dedicamos a un intrincado baile con nuestros colaboradores. En primer lugar, nos reunimos con todos ellos a la vez en Nueva York en 2002, les dimos nuestras ideas acerca de lo que sus capítulos deberían tratar de lograr y recibimos sus comentarios sobre cómo debíamos modificar nuestras ideas. A continuación, solicitamos a los colaboradores que nos enviaran un esquema de su capítulo y los revisamos (eliminando redundancias, asegurándonos de que se trataban los temas clave, dándoles un carácter pedagógico...). Luego, los colaboradores escribieron un primer borrador (a excepción de los Capítulos 1 y 7, que fueron escritos por SMK y por EES, respectivamente). Después revisamos y editamos los capítulos, y se los enviamos a la editora y experta en redacción, Nancy Brooks, quien leyó los capítulos con detenimiento y nos pidió aclaraciones sobre todo aquello que no le parecía claro como el cristal. Nancy lo corrigió y rescribió en gran medida para asegurar que el libro tuviera un estilo uniforme. Inevitablemente, de este proceso surgieron multitud de preguntas; algunas las contestamos nosotros, otras se les plantearon a los colaboradores. Luego, basándonos en las respuestas, revisamos de nuevo el texto y Nancy dio los últimos toques para que la prosa fuese fluida. Por último, ambos leímos y revisamos por separado todo el original, esforzándonos para que tuviera consistencia y coherencia.

Así pues, estamos agradecidos a nuestro equipo de colaboradores, que redactaron el borrador de los capítulos como se cita a continuación:

Capítulo 2: Adriane E. Seiffert, Jeremy M. Wolfe, y Frank Tong

Capítulo 3: Marlene Behrmann y Joy Geng

Capítulo 4: Lawrence W. Barsalou

Capítulo 5: Anthony D. Wagner

Capítulo 6: Todd S. Braver

Capítulo 8: Elizabeth Phelps
Capítulo 9: Reid Hastie y Alan Sanfey
Capítulo 10: Kevin Dunbar y Jonathan Fugelsang
Capítulo 11: Jean Decety y Jessica Sommerville
Capítulo 12: Maryellen C. MacDonald

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a nuestros editores, Jayme Hefler, Susanna Lesan, Jessica Mosher y especialmente a nuestra extraordinaria editora, Nancy Brooks. Ella convirtió lo que podría haber sido una recopilación desmañada de estilos en un libro coherente. También le agradecemos a Lera Boroditsky sus aportaciones a nuestro modo de manejar el lenguaje y las ideas, a Amy Blum Cole, Jennifer Shephard, Julia LeSage y William Thompson por su ayuda en todos los innumerables detalles, y a Shelley Creager por su competente gestión del proyecto. Por último, le agradecemos al personal de Prentice Hall su paciencia al permitir que este complicado proyecto se viera realizado. ¡Creemos que valió la pena la espera, y sólo confiamos en que usted —el lector— sienta lo mismo!

Edward E. Smith
Stephen M. Kosslyn

# Cómo el cerebro da lugar a la mente




## Objetivos de aprendizaje

**1.** Una breve historia: cómo hemos llegado hasta aquí
  **1.1.** En los comienzos: el contenido de la consciencia
  **1.2.** La Psicología en el mundo
  **1.3.** El Conductismo: reacción frente a lo inobservable
  **1.4.** La revolución cognitiva

**2.** Comprender la mente: la estructura de las teorías de la cognición
  **2.1.** Mente y cerebro
  **2.2.** Representación mental
  **2.3.** Procesamiento mental
  **2.4.** ¿Por qué el cerebro?

**DEBATE:** ¿Cuál es el carácter de las imágenes mentales visuales?

**3.** El cerebro cognitivo
  **3.1.** Las neuronas: los elementos que componen el cerebro
  **3.2.** Estructura del sistema nervioso

**4.** Estudio de la cognición
  **4.1.** Pruebas convergentes de las disociaciones y las asociaciones
  **4.2.** Métodos comportamentales
  **4.3.** Métodos neurales correlacionales: la importancia de la localización
  **4.4.** Métodos neurales causales
  **4.5.** Plantear modelos
  **4.6.** Modelos de redes neurales

**5.** Panorámica del libro

*Repaso y reflexión*

Acaba de tomar asiento y está a punto de comenzar su primera entrevista de trabajo. Está sentado en un lado de un despacho inmaculadamente limpio, frente a una mujer bien vestida. Se está preguntando a sí mismo: ¿Por qué estoy haciendo esto?, ¿En verdad quiero pasar por todo este estrés cuando puede que no consiga el trabajo —y aunque lo consiguiera, podría no gustarme—?

Bien, ¿por qué está usted aquí? Quizá fue la única oportunidad disponible y no puede permitirse el lujo de esperar una mejor oportunidad. Pero, ¿por qué este tipo de trabajo, en vez de algún otro?, ¿porque oyó a otras personas hablar de ello y le pareció interesante? O quizá vio un artículo en un periódico o una revista, lo recogió y leyó acerca de alguien que tiene ese trabajo. Sea lo que fuere lo que le impulsó a considerarlo, el trabajo ha de proporcionarle una paga suficiente para poder vivir y tener un futuro. A nadie le gusta ser evaluado, pero es parte del proceso. Así pues, aquí está usted, en la entrevista, preguntándose qué otra cosa hubiera podido hacer, en qué otro lugar podría encontrarse.

Resolver una cuestión decisiva, tal como si intentar o no conseguir un determinado trabajo, es una actividad enormemente complicada. Si quiere entender todas las reflexiones que le llevaron a decidirse a solicitar el trabajo y que se utilizaron durante la entrevista —y, suponiendo que le ofrezcan el trabajo, que le permiten decidir si aceptarlo o no—, deberá comprender lo siguiente:

- La *percepción,* el procesamiento de la información procedente de los sentidos, que usted precisa para oír y leer acerca del trabajo y, claro está, para escuchar a la entrevistadora y observar su rostro con el fin de detectar signos reveladores de cómo está usted desenvolviéndose.
- La *emoción,* tal como la ansiedad que incluye la entrevista y lo que disfrutaría del trabajo en cuestión; la emoción puede surgir cuando usted percibe algo (como la sonrisa afable de la entrevistadora al final de su explicación) y, quizá paradójicamente, es un aspecto principal de gran parte de la cognición.
- La *representación en la memoria a largo plazo,* sus recuerdos de trabajos veraniegos previos y de experiencias de estudio importantes, así como los de su papel de liderazgo en grupos y los de su formación.
- La *codificación*, que ocurre cuando usted introduce información nueva en la memoria, como cuando se describe a sí mismo lo que ve en el lugar de trabajo (sobre lo que podrá reflexionar más tarde, cuando piense si realmente desea el trabajo) y la *recuperación de la información de la memoria a largo plazo* (algo decisivo si va a contestar las preguntas en la entrevista y también cuando más tarde quiera pensar en los pros y los contras de lo que haya averiguado durante la entrevista).
- La *memoria operativa*[1], que le permite mantener la información en la consciencia y pensar en ello (lo que es importante si usted trata de profundizar en cualquier tema que surja de las preguntas).
- La *atención,* que le permite centrarse en una información específica, incluyendo tanto las palabras de la entrevistadora como sus señales no verbales, y también filtrar la información improcedente (como el ruido de los coches en el exterior).
- Los *procesos ejecutivos,* que dirigen sus otros procesos mentales, le permiten hacer pausas antes de hablar, le evita decir algo inadecuado y le posibilita controlar sus decisiones.
- La *toma de decisiones,* la *resolución de problemas* y el *razonamiento,* que le permiten imaginar qué trabajos podrían gustarle, el mejor modo de solicitarlos, así como qué decir durante la entrevista.

[1] También llamada «memoria de trabajo» *(working memory) (N. del T.).*

- La *cognición motora* y *la simulación mental,* que implican establecer sus respuestas, ensayándolas mentalmente y anticipando las consecuencias de sus respuestas (lo que resulta útil para prepararse con antelación para la entrevista y anticipar la probable respuesta de la entrevistadora a los comentarios que usted haga).
- Y, por supuesto, el *lenguaje,* que es lo que usted utiliza para entender las preguntas y responderlas; en última instancia, lo que usted diga determinará que su entrevista sea un éxito o un fracaso.
- Este libro se ocupa de todas estas actividades mentales —pues, de hecho, eso es lo que son— y otras cosas más.

La **actividad mental,** también conocida como **cognición,** es la interpretación interna o la transformación de información almacenada. Se adquiere información a través de los sentidos y se almacena en la memoria. La cognición ocurre cuando se obtienen implicaciones o asociaciones a partir de una observación, un hecho, o un acontecimiento. Por ejemplo, podríamos caer en la cuenta de que tendríamos que mudarnos a una ciudad nueva debido a un trabajo, pero no por otro, y luego pensar en las ventajas y los inconvenientes de la vida nocturna en esa nueva ciudad. Del mismo modo, cuando reflexionamos sobre si solicitar o no un trabajo determinado, ponderamos datos y consideraciones relativos al salario, coste de vida, posibles promociones, cualificaciones que podríamos obtener y que podrían ayudarnos a conseguir un trabajo mejor, etcétera. La actividad mental, en una forma u otra, es lo que nos permite representarnos mentalmente las diversas consecuencias de tales datos y consideraciones.

¿Cómo se puede estudiar la actividad mental? Aparentemente pensamos sin esfuerzo alguno, y a menudo podemos hablar fácilmente de nuestras creencias y deseos. Quizá sabemos que queremos un cierto tipo de trabajo porque nos hemos especializado en ese tema y nos hemos centrado como un rayo láser en dicha ocupación, incluso desde el final del instituto —fin de la historia—. Pero ¿cómo llegamos a darnos cuenta de si un trabajo determinado es el que nos conviene en nuestras circunstancias personales?, de hecho ¿por qué es uno mismo, y no nuestro perro o gato, quien tiene el concepto de un «trabajo»?, ¿y qué entendemos por «mente»?, ¿nos referimos a «consciencia», esto es, a aquello de lo que se es consciente? Si es así, ¿de qué depende que unos pensamientos sean conscientes y otros no? Ni el lector, ni los autores, ni ningún otro ser humano somos conscientes de la mayoría de las actividades mentales. Así pues, ¿cómo podemos llegar a entenderlas?

Este capítulo establece el marco de nuestra investigación, describiendo en primer lugar la naturaleza de las teorías de la actividad mental y examinando luego cómo los científicos han llegado a elaborar y evaluar en detalle tales teorías. En concreto, nos ocupamos de cuatro cuestiones:

1. ¿Cómo surgió el campo de la Psicología cognitiva?
2. ¿Qué es una teoría científica de la cognición, y qué papel juega el conocimiento del cerebro en dichas teorías?
3. ¿Cuáles son las principales estructuras del cerebro y qué función desempeñan en nuestras habilidades y capacidades?
4. ¿Qué métodos se utilizan para estudiar la cognición?

# 1 Una breve historia: cómo hemos llegado hasta aquí

La mayor parte de los temas de este libro, de una forma u otra, no son nada nuevo para los filósofos, quienes han examinado y elegido numerosas y diversas teorías de la mente desde hace más de dos mil años. Por ejemplo, el filósofo griego Platón (427-347 a.C.) creía que los recuerdos son como grabados en una tablilla de cera —y que las personas difieren en la dureza y pureza de la «cera,» lo que explicaría porqué algunas personas tienen mejores recuerdos que otras. Esta idea es interesante en parte porque no hay una distinción clara entre la sustancia física (la cera) y su función (retener recuerdos). El filósofo y matemático francés René Descartes (1596-1650) nos proporcionó la famosa distinción entre mente y cuerpo, sosteniendo que la mente es cualitativamente distinta del cuerpo, tan diferente como el calor lo es de la luz. Esta distinción ha trascendido a nuestra cultura y ahora les parece obvia a muchos, pero de hecho la investigación está mostrando ahora que no es tan clara como pueda parecer (como se verá cuando se consideren los efectos de la mente en el cuerpo —y viceversa— al estudiar la emoción). John Locke (1632-1704), que escribió en Inglaterra, reflexionó acerca de a qué podría asemejarse el contenido de la mente y sostuvo que el pensamiento es una serie de imágenes mentales. El obispo George Berkeley (1685-1753) discrepó, argumentando en parte que conceptos abstractos —como «justicia» y «verdad»— no podían expresarse eficazmente mediante imágenes. Tales debates establecieron el marco de muchos programas de investigación contemporáneos, como los dedicados a descubrir los diversos modos en que podemos almacenar información, los cuales —como sostuvo Berkeley— no pueden limitarse a imágenes mentales.

Aunque los filósofos plantearon muchas ideas fascinantes y a menudo señalaron cuestiones clave que aún se debaten hoy en día, sus métodos, simplemente, no estaban destinados a la tarea de resolver muchas de las preguntas acerca de la actividad mental. La Filosofía se basa en el razonamiento (por eso la Lógica se enseña en los departamentos de Filosofía), pero en ocasiones los datos disponibles no son suficientes para dar por sí mismos respuesta a una pregunta. La ciencia, a diferencia de la Filosofía, se basa en un método que produce nuevos datos y de ese modo permite a todos los que participan en un debate coincidir en la respuesta a una pregunta. El estudio científico de la mente comenzó a finales del siglo XIX, lo que para las pautas de la ciencia significa que aún está en mantillas.

## 1.1. En los comienzos: el contenido de la consciencia

Se puede decir que el estudio científico de la actividad mental se inicia con el establecimiento del primer laboratorio contemporáneo de Psicología en 1879, en Leipzig (Alemania). El director de ese laboratorio fue Wilhelm Wundt (1832-1920), que se centró en el estudio de la naturaleza de la consciencia (Figura 1-1). La idea que guiaba a Wundt era que el contenido de la consciencia —aquello de lo que se es consciente— puede abordarse de un modo similar a cómo los químicos abordan el estudio de la estructura de las moléculas: (1) caracterizando las sensaciones básicas (como sentir frío o calor o ver los colores azul o rojo) y los sentimientos (como el miedo o el amor), y (2) averiguando las reglas por las que dichos elementos se combinan (como el modo en que las sensaciones simples se combinan para formar la percepción de ver

un objeto en su totalidad, con su forma, textura y color). Un estudiante americano de Wundt, Edward Titchener (1867-1927), amplió este enfoque para abarcar no sólo sensaciones y sentimientos sino toda actividad mental.

Los primeros psicólogos de la escuela de Wundt realizaron, al menos, dos contribuciones principales. En primer lugar, demostraron que la actividad mental puede descomponerse en operaciones más básicas (como la percepción del color, la forma y la localización). Esta estrategia de «divide y vencerás» ha resistido la prueba del tiempo. En segundo lugar, idearon métodos objetivos para evaluar la actividad mental, como medir cuánto tiempo se necesita para tomar ciertas decisiones.

Sin embargo, estos científicos también confiaron excesivamente en la **introspección**, el proceso de percepción interna; esto es, examinarse a sí mismo para evaluar la propia actividad mental. Con el fin de experimentar la introspección, trate el lector de contestar a esta pregunta: ¿Qué forma tienen las orejas de un gato? La mayoría de la gente dice que visualizan la cabeza del animal y «miran» sus orejas. ¿Ha tenido el lector esta experiencia? No todos la han tenido. ¿Qué podemos concluir cuando las personas no coinciden en sus introspecciones? Y ahora piense ¿de qué color eran las orejas, de qué textura?, ¿existían estas características en su imagen mental?, ¿está usted seguro?, ¿qué hacemos cuando las personas que informan de su propia actividad mental no están seguras?



**FIGURA 1-1** Wilhelm Wundt (en pie con barba gris) y colegas

Los primeros laboratorios de Psicología se dedicaron a indagar la naturaleza de la actividad mental, pero utilizaron la introspección de un modo que más tarde demostró no ser fiable.
(Archivos de Historia de la Psicología americana-Universidad de Akron.)

Wundt entrenó a sujetos para que se observaran y fueran conscientes de sus propias reacciones a los estímulos, advirtiendo cambios sutiles en la duración, calidad e intensidad cuando se modificaban dichos estímulos ligeramente (por ejemplo, con un matiz diferente de color o tonalidad). No obstante, esta confianza en los informes introspectivos resultó ser su talón de Aquiles: por más que se aumentara el tiempo de entrenamiento no se podía detectar otro tipo de diferencia. Oswald Kulpe (1862-1915), otro científico filósofo alemán, demostró que las imágenes mentales no siempre acompañan a la actividad mental. Una imagen mental se reconoce por una sensación perceptiva cuándo no hay el *input*[2] sensorial apropiado; una imagen mental da lugar a la experiencia de «ver con el ojo de la mente» (o «escuchar con el oído de la mente», etc.). Algunos tipos de actividad mental, tal como la que se da en la cabeza del lector a medida que entiende estas palabras, son inconscientes —no se acompañan de imágenes mentales—. Kulpe y sus colegas encontraron, por ejemplo, que cuando se les pidió a los participantes en un experimento que levantaran dos pesos y decidieran cuál era el más pesado, pudieron hacerlo, pero sin saber cómo llegaron a decidirlo. Los sujetos dijeron que habían tenido imágenes cinestésicas de los pesos (es decir, tuvieron la «sensación» de levantarlos), pero el proceso de decisión en sí mismo no dejó huella en la consciencia. De un modo parecido, usted será consciente de haber tomado la decisión de solicitar un trabajo determinado y no otros, pero no podrá tener consciencia precisamente de *cómo* tomó esa decisión.

## 1.2. La Psicología en el mundo

Casi al mismo tiempo que el laboratorio de Wundt estaba en pleno funcionamiento, se promovió otra orientación de la psicología científica, principalmente en América, gracias a William James (1842-1910). Estos psicólogos «funcionalistas», como se les llegó a conocer, no se centraron en la *naturaleza* de la actividad mental sino más bien en la *función* que actividades mentales específicas desempeñan en el entorno. La idea era que ciertas conductas o modos de abordar un problema son más adecuados que otros para llevar a cabo ciertas tareas, y que deberíamos cambiar nuestras ideas y nuestra conducta a medida que vayamos descubriendo lo que cada vez se «adapta mejor» a nuestro entorno. Por ejemplo, si uno descubre que aprende más asistiendo a clase que leyendo un texto, debería asegurarse de asistir a todas ellas. Más aún, debería fijarse en qué es lo que le atrae de las clases (¿la oportunidad de hacer preguntas?, ¿los medios pedagógicos visuales?) e intentar escoger cursos en los que las clases tengan dichas características.

El enfoque funcionalista aportó una sólida base para estudios posteriores. En particular, al proponer teorías sobre la función de conductas y actividades mentales se basó en gran parte en las ideas sobre la evolución propuestas por Charles Darwin —y esta perspectiva evolucionista ha prosperado (*véase*, p. ej., Pinker, 1997, 2002)—. Pensar en las actividades mentales y la conducta desde una perspectiva evolucionista ha llevado a los investigadores a estudiar la conducta animal, lo que ha continuado siendo una fuente valiosa de conocimiento de ciertas funciones mentales, especialmente en lo que respecta a su relación con el cerebro (Hauser, 1996).

[2] Entrada de información a un sistema. *(N. del T.)*

## 1.3. El conductismo: reacción frente a lo inobservable

Con muy buen criterio, los primeros psicólogos intentaron usar como modelo para su nueva ciencia los acontecimientos que estaban triunfando en su época, los métodos de la Física, la Química y la Biología. Pero diferentes psicólogos extrajeron diferentes conclusiones de los logros de otras ciencias y algunos sostuvieron que la Psicología no debería tratar de comprender fenómenos mentales encubiertos sino más bien debería centrarse estrictamente en lo que se puede observar directamente: los estímulos, las respuestas y las consecuencias de esas respuestas (Figura 1-2). Esta fue la doctrina central de los conductistas, quienes evitaron hablar de actividad mental. Las teorías conductistas explican cómo los estímulos llevan a las respuestas, y cómo las consecuencias de las respuestas establecen asociaciones entre los estímulos y las respuestas. Algunos conductistas, entre ellos Clark L. Hull (1884-1952), estaban dispuestos a reconocer la existencia de sucesos internos que se deducen directamente de la conducta, tal como la motivación, aún cuando dichos sucesos no fueran observables en sí mismos. Sin embargo, muchos conductistas posteriores, en particular B. F. Skinner (1904-1990) y sus discípulos, llegaron incluso a rechazar absolutamente cualquier consideración acerca de sucesos internos. De todos modos, en cualquier caso, el enfoque de los conductistas tuvo importantes limitaciones. De hecho, sencillamente no pudo explicar las conductas humanas más interesantes, en especial el lenguaje (Chomsky, 1957, 1959). El conductismo también fracasó en proporcionar un conoci-



**FIGURA 1-2** Observación de la conducta de la rata

Se ha demostrado que los métodos conductistas, aunque no así la teoría que inicialmente guió las investigaciones, son útiles para estudiar la cognición.
(Fotografía de Richard Wood. Cortesía de *Index Stock Imagery, Inc. Royalty Free.*)

miento de la naturaleza de la percepción, la memoria, la toma de decisiones —de hecho, prácticamente de todos los temas de los que trata este libro—.

No obstante, los conductistas contribuyeron con multitud de técnicas experimentales rigurosas que desde entonces han sido provechosamente utilizadas para estudiar la cognición. Además, los conductistas hicieron muchos descubrimientos, en particular acerca de la naturaleza del aprendizaje, que ahora han de explicar todas las teorías psicológicas. Por otra parte, el enfoque conductista lleva a complejos puntos de vista acerca de cómo los animales utilizan la información para decidirse, lo que a su vez ha inspirado muchos trabajos contemporáneos (*véase*, p. ej., Grafen, 2002; Herrnstein, 1990).

## 1.4. La revolución cognitiva

Hoy en día, vuelve a darse valor al estudio de actividad mental. A medida que se fueron reconociendo las limitaciones del conductismo, los investigadores se fueron abriendo a otros enfoques —pero esta reacción en contra del conductismo habría tenido mucho menos efecto de no ser por cambios tecnológicos cruciales, que llevaron a un nuevo modo de concebir la actividad mental—. Este nuevo enfoque, desarrollado a finales de los años cincuenta y primeros de los sesenta, estuvo directamente ligado al desarrollo de los ordenadores (Gardner, 1985) y dominó de tal modo el campo que este periodo de transición ahora se conoce como la *revolución cognitiva*. Los conductistas sencillamente habían descrito las relaciones entre estímulo, respuesta y consecuencias. Ahora los investigadores aprovecharon los ordenadores como un modelo de cómo tiene lugar la actividad mental humana; los ordenadores fueron un instrumento que permitió a los investigadores explicar los *mecanismos* internos que producen la conducta. Los psicólogos y expertos en ordenadores Herbert A. Simon y Alan Newell, así como el lingüista Noam Chomsky, jugaron un papel crucial en esta revolución al dar ejemplos de cómo se puede progresar comparando la mente con un ordenador (Figura 1-3).

La revolución cognitiva floreció cuando los investigadores desarrollaron nuevos métodos para examinar las predicciones de los modelos informáticos, que a menudo explicaban la secuencia en la cual supuestamente tienen lugar actividades mentales específicas. Estos métodos fueron una parte importante de la revolución cognitiva porque permitieron que la actividad mental pudiera estudiarse más objetivamente que con la introspección, y por consiguiente permitió a muchos investigadores ir más allá del conductismo sin renunciar a la aspiración de empirismo, el descubrimiento de nuevos datos mediante una observación sistemática.

Una razón por la que los ordenadores fueron tan importantes como modelo es que demostraron, de una vez por todas, porqué los investigadores tienen que pensar en los sucesos internos y no sólo en los estímulos, las respuestas, y las consecuencias de respuestas observables. Por ejemplo, imagine que su programa procesador de textos ha comenzado a editar TODO LO QUE ESCRIBE EN MAYÚSCULAS. ¿Qué hace usted? En primer lugar, probablemente comprobar si la tecla del bloqueo de mayúsculas está activada. Cualquier buen conductista lo aprobaría: usted se está fijando en los estímulos y las respuestas. Pero supongamos que la tecla no está presionada. ¿Ahora qué? Ahora usted sospechará que algo no funciona correctamente. Por alguna razón, las pulsaciones del teclado no se están *interpretando* correctamente. Para resolver el



**FIGURA 1-3** BINAC, el Computador Automático Binario, desarrollado en 1949

La tecnología de los ordenadores se ha desarrollado tan deprisa que modelos complejos de actividad mental se pueden programar ahora en un ordenador normal de sobremesa.
(Cortesía de Corbis/Bettman.)

problema, deberá examinar el programa para ver exactamente lo que está haciendo. Estudiar los estímulos y las respuestas es sólo el comienzo; una comprensión exacta de lo que está ocurriendo, tanto en personas como en ordenadores, requiere ir al interior, en busca del mecanismo subyacente a lo que se puede observar directamente. Finalmente, en los últimos años la Biología ha llegado a ser una parte principal de la combinación. Para saber el porqué, hemos de considerar más detalladamente la naturaleza de la actividad mental, lo que pasamos a hacer en el siguiente apartado.



## *Control de comprensión*



1. ¿Cuáles son las diferencias entre el enfoque conductista y el cognitivo?
2. ¿Por qué ocurrió la «revolución cognitiva»?

# 2 Comprender la mente: la estructura de las teorías de la cognición

La revolución cognitiva condujo a una idea detallada de la estructura de una teoría de la actividad mental, pero decir que las actividades mentales son como programas informáticos es un salto en el vacío. Pensemos en los equipos informáticos, las máquinas que llevan a cabo programas informáticos, en comparación con la «máquina» que produce la actividad mental —es decir, el cerebro—. La verdad es que los ordenadores y los cerebros aparentan ser muy diferentes y están compuestos por materiales distintos. Además, los programas de ordenador son algo distinto de los aparatos que los procesan; el mismo programa puede ejecutarse en muchos aparatos diferentes. Pero la actividad mental que tiene lugar en la cabeza del lector en este momento es suya y tan sólo suya. ¿Por qué habríamos de suponer que los programas informáticos tienen algo que ver con la actividad mental que produce el cerebro? Está claro que la semejanza se limita a ciertos aspectos de los programas informáticos. ¿Pero a cuáles?

## 2.1. Mente y cerebro

La distinción entre el *software*[3] de un ordenador —sus programas— y el *hardware*[4] es un buen primer paso ya que nos permite centrarnos en cómo funcionan los ordenadores y no simplemente en su naturaleza física. La idea de que la actividad mental es como el *software* y el cerebro es como el *hardware* no es del todo correcta. Si un programa de ordenador es útil, en ocasiones se le convierte en un *chip*[5] y entonces «llega a ser» un elemento del *hardware*. Una vez transformado, lo que era un programa (esto es, una serie de instrucciones al ordenador) está ahora fotograbado como circuitos en un *chip*; el programa como tal ya no existe ¿ya no se pueden identificar partes del *chip* con las diferentes instrucciones del programa del ordenador? Por ejemplo, en un programa se podría escribir una instrucción para hacer que el ordenador sumará 10 números, y luego otro para hacerle dividir la suma por 10 para calcular el promedio. En un *chip*, tales instrucciones no existirían; en lugar de ello los circuitos lograrían el mismo resultado. Aún así, puede decirse que el *chip* hace lo mismo que el programa: sumar los números y dividir por el número de dígitos para encontrar el promedio. Esto es lo importante: a pesar de que el *software* —un programa— no existe, todavía podemos describir lo que realiza el *hardware* usando la misma terminología que hemos utilizado para describir el programa.

La distinción decisiva no es entre *software* y *hardware* en sí mismos, sino más bien entre **niveles de análisis**, los diversos grados de abstracción que se pueden emplear para describir un objeto. Por lo general, diferentes niveles de análisis se basan en diferentes terminologías. Empecemos con el ordenador: en un nivel, se puede describir el ordenador en términos de su aspecto físico, considerando cómo la electricidad modifica los campos magnéticos, observando como el calor se produce y se disipa, y cosas por el estilo. En otro nivel, se puede describir el ordenador en términos de sus funciones; esto es, en términos de *qué es lo que hace el ordenador*: recibe *input* en forma de símbolos, convierte los símbolos en un código especial, almacena dicha

[3] Programa informático. *(N. del T.)*
[4] Equipo informático. *(N. del T.)*
[5] Circuito integrado. *(N. del T.)*

información y realiza operaciones con ella (sumando, generando listas, comparando el *input* con la información almacenada, etc.). En este nivel, en lugar de basarnos en el lenguaje de la Física, para una descripción precisa dependemos del lenguaje del **procesamiento de la información**; es decir, el almacenamiento, el manejo, y la transformación de información. En Psicología cognitiva, la actividad mental suele describirse en términos de procesamiento de la información. Cuando usted está allí sentado, sonriendo e intentando parecer relajado mientras se desarrolla la entrevista de trabajo, su cerebro está trabajando duro para permitirle encontrar las respuestas más oportunas. Para entender todo lo que interviene en cada una de sus preguntas y respuestas, se ha de entender cómo se procesa la información.

Un aspecto crítico de la idea de niveles de análisis es que una descripción en un nivel no puede reemplazarse por otra de un nivel distinto; los niveles pueden aportar análisis igualmente válidos e incluso reforzarse uno a otro, pero no son intercambiables. En particular, el análisis de la actividad mental —el nivel de procesamiento de información— no puede reemplazarse por el nivel de una descripción física del cerebro. ¿Por qué no? Veamos algunos ejemplos. ¿Puede reemplazarse una descripción arquitectónica de un edificio por una descripción de sus ladrillos, armazones y otros materiales de construcción? No. ¿Puede reemplazarse una descripción de la función de unas tijeras por una descripción de la disposición de los átomos de sus hojas? Está claro que no. ¿Qué decir de la mano humana?: ¿podría reemplazar una descripción de huesos, tendones y músculos las descripciones de asir, acariciar y remover? No. El ordenador —y el cerebro— no son diferentes de estos ejemplos. Para entenderlo del todo se ha de distinguir entre un nivel funcional de análisis (lo que las características arquitectónicas de un edificio deben conseguir, las acciones que unas tijeras y una mano realizan) y un nivel físico de análisis (en el que se describen las propiedades físicas de las partes que componen estos objetos).

Las descripciones a diferentes niveles de análisis no pueden reemplazarse una por otra porque describen tipos de cosas cualitativamente diferentes. Y ésta es la razón por la que no se puede prescindir de una descripción del procesamiento de la información, qué es lo que efectúa la actividad mental, y en lugar de ello limitarse a examinar el cerebro físico que la origina.

¿Significa esto que el estudio del cerebro no tiene sentido en el estudio de la cognición? ¡De ningún modo! Aunque no se puede reemplazar un nivel de análisis por otro, se pueden obtener conocimientos de las características de un nivel a partir de los otros. Probablemente no se podrían fabricar unas tijeras que funcionaran con cartón mojado: es importante conocer las características físicas de los materiales para comprender cómo una hoja puede tener un borde cortante (y porqué algunos materiales son más apropiados que otros). Del mismo modo, la estructura física de la mano es lo que le permite todas esas cosas maravillosas: sin palma, ni dedos ni pulgar no hay prensión, caricia o movimiento. Como se expondrá a lo largo de este libro, los investigadores se han dado cuenta de que concebir la actividad mental como algo semejante a un ordenador fue un buen comienzo, pero para entender completamente la actividad mental es necesario considerar los mecanismos neurales que la originan, lo que en última instancia requiere comprender cómo el cerebro da lugar a la actividad mental. El conocimiento del cerebro, el más complejo de los órganos, ayuda a comprender la cognición, los sentimientos y la conducta. Para ver cómo, primero hay que reflexionar más detenidamente acerca de la naturaleza del procesamiento de la información que subyace a la actividad mental.

## 2.2. Representación mental

Toda nuestra actividad mental versa *acerca* de algo —un posible trabajo que podríamos escoger, la cara de un amigo que vemos enfrente, pensamientos afectuosos de la cita de la última noche—. Los psicólogos cognitivos intentan precisar cómo se representa internamente la información. Una **representación** es un estado físico (como las señales en una página, los campos magnéticos en un ordenador o las conexiones neuronales en un cerebro) que transmite información, simbolizando un objeto, acontecimiento, o una categoría o sus características. Las representaciones tienen dos facetas bien definidas. Por una parte, la representación tiene una *forma*, el modo en el cual transmite información —en otras palabras, su **formato**—. Por ejemplo, un dibujo (es decir, una imagen) y una descripción verbal (del tipo encontrado en un texto) son formatos diferentes (Figura 1-4). Los dibujos representan algo mediante una semejanza gráfica entre las líneas del dibujo y las partes correspondientes del objeto o la escena representados. Las descripciones (como estas palabras) representan algo gracias a reglas que permiten que símbolos (letras y signos de puntuación) se combinen de ciertos modos pero no de otros (en inglés escrito, *word* es un orden aceptable de símbolos pero «odwr» no lo es; Kosslyn, 1980, 1994). Por otra parte, está el *contenido*, el significado, que comunica una representación determinada. El mismo contenido puede comunicarse, por lo general, en más de un formato: las palabras habladas y el código morse son formatos diferentes que pueden comunicar el mismo contenido. (Su decisión de solicitar un trabajo particular a menudo puede depender de información en la que usted obtuvo al menos en dos formatos, palabras escritas y habladas.)

## 2.3. Procesamiento mental

¿Hace ruido un árbol al caer en el bosque si no hay nadie allí para escucharlo? La respuesta, al menos para los psicólogos, es clara: no. El «sonido» es una cualidad psicológica, que no es lo mismo que ondas de aire comprimido. Ha de existir un cerebro para *percibir* la pauta de compresión de las ondas, y son los impulsos neuronales en el cerebro lo que da lugar a la experiencia del sonido. Si no hay cerebro, no hay sonido. De modo semejante, para entender cómo se realizan las representaciones es necesario tener en cuenta algo más, a saber, los procesos que intervienen en ellas. Las palabras francesas transmiten información a los que hablan francés, y las señales de humo transmiten información a los indios americanos que entienden el fuego, porque saben cómo interpretarlas; para otros no tienen significado. Del mismo modo, estos garabatos negros en la página delante del lector tienen significado sólo porque ha aprendido a *procesarlos* apropiadamente. Un **proceso** es una transformación de la información que se atiene a principios bien definidos para producir un resultado (*output*[6]) específico cuando se da una entrada de información (*input*) determinada. En un ordenador, se puede proporcionar un *input* presionando la tecla marcada «4» y un proceso produce un *output*, la forma «4» en la pantalla. El proceso asocia un *input* con un *output*.

Pensemos en el programa de procesamiento de textos de su ordenador. Si no hubiera modo de teclear el texto, ninguna forma de cortar y pegar o suprimir, ningún

[6] Salida de información o respuesta de un sistema. *(N. del T.)*

modo de salvar y recuperar lo que se ha escrito, ¿de que serviría? Las representaciones de las palabras en la memoria de acceso aleatorio (RAM) y en el disco duro son útiles sólo porque pueden ser procesadas. De modo semejante, una *representación mental* es una representación que transmite significado dentro de un sistema de procesamiento —un sistema que incluye procesos diversos que interpretan y actúan sobre representaciones, haciendo cosas diversas con ellas—. Las representaciones mentales no representarían nada si no ocurriesen dentro de un sistema de procesamiento. Por ejemplo, si nunca se accediera a las representaciones y no se interviniera en ellas mediante procesos que las utilizan de un modo específico (como, por ejemplo, interpretando su significado o hallando otras representaciones con las que están asociadas), a efectos prácticos no existirían. Para ser más concretos, un **sistema de procesamiento** es un conjunto de procesos que operan juntos para llevar a cabo un tipo de tarea, usando y produciendo representaciones según sea preciso. Un sistema de procesamiento es como una fábrica que recibe metal, plástico y pintura como suministros y produce coches como resultado. En la fábrica se realizan muchas operaciones diferentes, pero todas operan juntas para lograr un mismo objetivo.

Un concepto clave es que una actividad compleja no puede efectuarse mediante un único proceso, sino que tiene que llevarse a cabo mediante un conjunto de procesos, cada uno de los cuales realiza un aspecto diferente del trabajo total (pensemos de nuevo en el ejemplo de la fábrica de automóviles). Ningún programa extenso de ordenador es un simple listado de códigos ininterrumpido. Más bien, los programas se escriben en módulos que interactúan de diferentes modos dependiendo de la naturaleza del *input* y del *output* que se requiere. Esto puede aplicarse al procesamiento de la información que subyace a la actividad mental (Marr, 1982; Simon, 1981).

Un **algoritmo** es un procedimiento paso a paso que garantiza que un *input* determinado producirá un *output* determinado. Una buena receta es un algoritmo: siga una lista de pasos en su procedimiento que implican usar determinadas cantidades de

«HAY UNA PELOTA ENCIMA DE UNA CAJA»

| Descripción (representación tipo proposición lingüística) | Imagen (representación cuasipictórica) |
|---|---|
| ENCIMA (PELOTA, CAJA) | |
| 1. Relación (p. ej., ENCIMA) | 1. No hay una relación definida |
| 2. Argumento(p. ej., PELOTA, CAJA) | 2. No hay argumentos definidos |
| 3. Sintaxis (reglas para combinar los símbolos) | 3. No hay una sintaxis evidente |
| 4. Abstracta | 4. Concreta |
| 5. No ocurre en un medio espacial | 5. Ocurre en medio espacial |
| 6. Relacionado arbitrariamente con el objeto que representa | 5. Se utiliza la semejanza para transmitir información |

**FIGURA 1-4** Ejemplos de diferentes formatos

El mismo contenido puede representarse tanto mediante descripciones (representaciones abstractas, similares a proposiciones lingüísticas) como por imágenes (representaciones cuasipictótricas). Se enumeran algunas de las diferencias entre los dos tipos de formatos. Una «relación» especifica cómo se combinan las entidades, y un «argumento» es una entidad que está afectada por una relación.

(Adaptado y reimpreso con permiso del editor de *Image and Mind,* por Stephen M, Kosslyn, p. 31, Cambridge, Mass: Harvard University Press, Copyright © 1980 por el Presidente y Miembros del Harvard College.)

harina, huevos, leche, azúcar y mantequilla, así como las acciones de mezclar, amasar y hornear, y obtendrá un buen bizcocho. Los *algoritmos en serie* establecen una secuencia de pasos, en la que cada paso depende del precedente. Por el contrario, los *algoritmos en paralelo* establecen operaciones que se realizan al mismo tiempo, como se puede preparar la cobertura del bizcocho al mismo tiempo que se hace la masa en el horno. Algunos algoritmos implican un procesamiento tanto en serie como en paralelo. Un algoritmo que lleva a cabo un proceso mental combina operaciones específicas, usando y creando representaciones cuando se necesitan. Haciendo una comparación, cuando se mezclan los huevos, la leche, el azúcar, y la mantequilla con la harina, se crea algo nuevo: la masa. Esto es como crear una representación nueva, lo cual es un requisito previo para realizar un proceso determinado, como hacer una masa, y luego, acabado éste, hornear.

## 2.4. ¿Por qué el cerebro?

En sus inicios, la Psicología cognitiva se interesaba sólo por la función, sólo por caracterizar la actividad mental (Neisser, 1967). Más recientemente, la Psicología cognitiva ha llegado a basarse en datos sobre el cerebro. Esta evolución ha tenido lugar por dos razones principales, que atañen a los conceptos de lo que puede identificarse y de suficiencia. Lo *identificable* se refiere a la capacidad para especificar la combinación correcta de representaciones y procesos que se utilizan para llevar a cabo una tarea. El problema es que, en principio, diferentes tipos de procesamiento de la información pueden producir el mismo resultado. Así pues, se precisan tipos adicionales de pruebas —tales como conocer una actividad cerebral específica— para averiguar cómo tiene lugar en realidad el procesamiento mental. El objetivo de cualquier teoría científica es descubrir la realidad del asunto que trata, entender los principios y las causas que subyacen a los fenómenos. Así como se puede describir correcta o incorrectamente la forma en que un programa de ordenador concreto funciona, se pueden describir correcta o incorrectamente las representaciones mentales, los procesos, y el modo en que se emplean durante una actividad mental específica. Se puede estar en lo cierto o estar equivocado.

Es difícil no estar de acuerdo con la idea que unas teorías (o aspectos de una teoría) son correctas y otras son incorrectas, pero es mucho más fácil hablar de lo identificable que lograrlo. Un motivo por el que este enfoque en «blanco y negro» ha resultado difícil de realizarse es que en Psicología cognitiva las teorías pueden ser debilitadas por una *compensación entre estructura y proceso*. Éste es un principio importante, así es que hagamos una pausa para considerar un ejemplo.

Saul Sternberg (1969b) ideó un método para examinar cómo la información ingresa en la memoria. Presentó a sujetos conjuntos de dígitos, cada conjunto contenía de uno a seis elementos. Luego mostró elementos individuales y pidió a los sujetos que decidieran lo más rápido posible si dichos elementos formaban parte del conjunto. Por ejemplo, los sujetos debían memorizar en primer lugar «1, 8, 3, 4» y más tarde se les preguntaba si el «3» estaba en el conjunto, si lo estaba el «5», y así sucesivamente. Un resultado clave fue que el tiempo para responder aumentó linealmente con el tamaño de la serie a memorizar; esto es, el tiempo aumentó igualmente con cada elemento que se incluía en el conjunto. Esto llevó a Sternberg a plantear la hipótesis de que los sujetos mantenían *listas* de los elementos en la memoria y *exploraban en serie*

esas listas (cuando se les preguntaba si el «3» estaba en el conjunto, la revisaban y comprobaban cada elemento de la lista que mantenían en la memoria). La teoría indicaba, por lo tanto, una representación (una lista) y un proceso asociado (exploración en serie). Sin embargo, no transcurrió mucho tiempo antes de que otros (*véase*, p. ej., Monsell, 1978; Townsend, 1990; Townsend y Ashby, 1983) formulasen teorías alternativas que modificaron la representación y compensaron este cambio cambiando el proceso asociado. Por ejemplo, en lugar de en una lista, los elementos podrían almacenarse como un *conjunto desordenado*, como bolas de billar en un cuenco. En vez de examinarlas una a una, pueden examinarse *en paralelo*, todas al mismo tiempo (Figura 1-5). ¿Pero cómo podría explicar esta teoría el aumento de tiempo preciso para los conjuntos más grandes? La idea esencial es que —como todo en la naturaleza— varía el tiempo de examen de cada elemento, ya se los examine de uno en uno dentro de una lista o en paralelo como un grupo. Pensemos en la cantidad de tiempo que la gente invierte en una entrevista de trabajo: algunas entrevistas acaban muy rápidamente (¡para bien o para mal!), otras se hacen interminables. Al igual que en las entrevistas, algunas comparaciones de información memorizada son más rápidas que otras. Y aquí está el truco que hace que esta teoría alternativa funcione: cuanto mayor es el número de elementos a tener en cuenta, más probable es que una de las comparaciones sea particularmente lenta, así como es más probable que haya una entrevista particularmente larga cuando la cantidad de personas a entrevistar aumenta. Así pues, si han de inspeccionarse todos los elementos antes de tomar una decisión, entonces, cuantos más elementos, más tiempo se precisará en general para realizar todas las comparaciones.

En pocas palabras, las dos teorías, listas con exploración en serie y conjuntos con comparación en paralelo, pueden emular una a otra. La cuestión clave es que se puede cambiar la teoría de la representación y compensar tal cambio alterando la teoría del proceso. La representación y el proceso se equilibran entre sí, los cambios en una compensan los cambios del otro.

Anderson (1978) demostró con pruebas matemáticas que los teóricos del procesamiento de la información pueden utilizar siempre este tipo de compensación entre estructura y proceso para crear una teoría que imite a otra. El problema es que todas

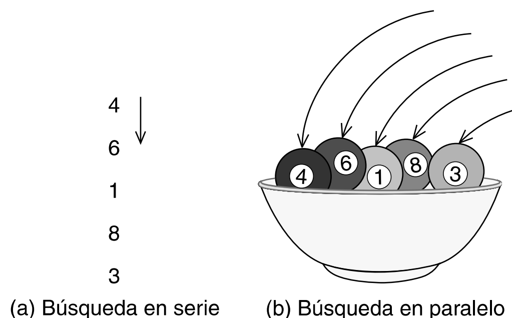



**FIGURA 5-1** Dos teorías de exploración de la memoria

(a) Un conjunto de dígitos puede ordenarse en una lista y explorarse en serie, un dígito cada vez. (b) Otra posibilidad es que se pueda cambiar la representación, creando un conjunto desordenado y entonces se puede cambiar el proceso para compensar el cambio de representación —examinando todos los dígitos en paralelo—. Esta compensación entre estructura y proceso puede producir modelos que pueden remedarse uno a otro; ambos predicen una cantidad mayor de tiempo cuando ha de examinarse un conjunto mayor de dígitos.

las características tanto de las representaciones como de los procesos están a disposición de cualquiera: un teórico puede cambiar un aspecto y luego adaptar los otros aspectos de la teoría arbitrariamente ¿no hay nada establecido por adelantado? Sin embargo, Anderson también puntualizó que el cerebro puede servir para limitar esta arbitrariedad. Un teórico *no puede* inventarse propiedades del cerebro a su antojo para dar una explicación de los datos. Las teorías cognitivas están limitadas por los datos existentes acerca del cerebro; los datos no dictan las teorías, pero limitan el alcance de lo que puede proponerse. Los datos sobre el cerebro apuntalan las teorías de modo que los teóricos no siempre pueden usar la compensación entre estructura y proceso para inventar explicaciones alternativas del conjunto de datos; en el recuadro de *Debate* adjunto se presenta un ejemplo del modo en que dichos datos pueden ayudar a comprender la actividad mental.

Recurrir al cerebro nos ayuda a enfrentarnos con el desafío de qué es identificable. Pero esto no es todo lo que se puede conseguir al considerar el cerebro cuando se formulan teorías de la actividad mental. Los datos relativos al cerebro nos pueden ayudar a examinar la *competencia* de una teoría, lo cual nos permite saber si la teoría es —hasta qué punto— válida.

¿Cómo saber si una teoría, considerada en sus propios términos (y no en comparación con otra teoría que compite con ella) merece la pena en sí misma? A primera vista, parece algo obvio: una teoría debería tomarse en serio si explica todos los fenómenos pertinentes y hace predicciones correctas. Ese criterio es válido para evaluar una teoría final, ultimada ¿¡pero no está claro que tales teorías existan en realidad!? ¿Y en cuanto a las teorías que se están desarrollando actualmente, como ocurre en casi toda la Psicología cognitiva?, ¿cómo se puede saber si están en el buen camino? Está claro que la teoría ha de poder comprobarse y ha de poder desecharse; si una teoría puede explicar cualquier resultado *y* su opuesto, no explica nada.

Además, en Psicología se pueden emplear los datos acerca de la estructura y la función cerebral como una ayuda para evaluar las teorías. Dichos datos pueden aportar una sólida justificación y soporte para una teoría (lo que Chomsky, en 1967, denominó *competencia explicativa*). Por ejemplo, una teoría cognitiva podría sostener que los sustantivos y los verbos se almacenan por separado, y esta teoría tal vez podría basarse en las diferencias existentes en la facilidad con la que se puede aprender cada categoría. Si luego los investigadores pueden demostrar que el cerebro «respeta» esta distinción, quizá demostrando que diferentes zonas del cerebro se activan cuando las personas producen o comprenden los dos tipos de palabras, la teoría queda respaldada. Y más firmemente respaldada de lo que lo estaría si tan sólo se recopilaran más datos sobre el aprendizaje, del tipo de los que se utilizaron inicialmente para formular la teoría. En este libro, se emplean los datos referentes al cerebro de este modo, como una fuente aparte de justificación y apoyo de las teorías cognitivas. Si una teoría incorpora dos procesos distintos, esta teoría gana apoyo cuando los investigadores demuestran que regiones diferentes del cerebro llevan a cabo cada proceso.



## Control de comprensión



1. ¿Cuál es la relación entre la actividad mental y la actividad cerebral?
2. ¿Por qué es importante la información relativa al cerebro para formular teorías sobre la actividad mental?

DEBATE

## ¿Cuál es el carácter de las imágenes mentales visuales?

La percepción ocurre debido a que los órganos sensoriales (p. ej., los ojos y los oídos) registran un estímulo que está presente físicamente y el cerebro nos permite organizar el *input* sensorial; la imagen mental ocurre cuando se tiene una experiencia similar de percepción, pero se basa en información almacenada previamente en la memoria. Por ejemplo, ¿puede usted recordar cuantas ventanas tiene su dormitorio? Para responder, la mayoría de las personas visualizan su habitación, lo que es un ejemplo de cómo se utiliza una imagen mental. Aún cuando las imágenes mentales puedan parecer similares a la percepción, está claro que no son lo mismo: se pueden cambiar las imágenes a voluntad (por ejemplo, añadiendo o suprimiendo ventanas) y, por otra parte, las imágenes se desvanecen muy rápidamente.

El «debate de las imágenes mentales» se refiere a la naturaleza de las representaciones que se utilizan durante la imaginación mental, y se ha centrado en las imágenes mentales visuales (aunque puede aplicarse igualmente a otros tipos de imágenes, tales como las imágenes auditivas que se tienen cuando se «escucha» mentalmente una canción). Este debate comenzó cuando Zenon Pylyshyn (1973) sostuvo que las imágenes mentales se basan por completo en el mismo tipo de representaciones descriptivas que las empleadas en el lenguaje. Kosslyn y Pomerantz (1977) recogieron tanto argumentos teóricos como resultados empíricos en un intento de rebatir la tesis de Pylyshyn y defender la idea de que las imágenes se basan, en parte, en representaciones pictóricas. En las representaciones pictóricas, cada punto de la representación corresponde a un punto del objeto que se dibuja, de modo que las distancias entre puntos de la representación corresponden a las distancias entre los puntos correspondientes del objeto. Los cuadros son un ejemplo de una representación pictórica. Muchos cambios seguidos en las teorías, sin conclusión. Cada hallazgo que se daba en el campo pictórico era rápidamente socavado en el campo descriptivo. La compensación entre estructura y proceso se tambaleaba tempestuosamente (Anderson, 1978; Kosslyn, Thompson y Ganis, 2006).

Hoy en día, el debate parece marchar por fin hacia alguna parte gracias a los nuevos conocimientos de datos clave acerca de los mecanismos cerebrales subyacentes a la visión. En el cerebro del mono, ciertas áreas implicadas en el procesamiento visual están *organizadas topográficamente* y nuevos métodos han demostrado que el cerebro humano contiene, asimismo, dichas áreas visuales (*véase*, p. ej., Sereno *et al*., 1995). Estas áreas del cerebro (que se conocen como áreas 17 y 18) utilizan puntualmente espacio de la superficie del cerebro para representar el espacio en el entorno. Cuando se ve un objeto, el patrón de actividad en la retina se proyecta al cerebro, donde se reproduce (aunque con algunas distorsiones) en la superficie cerebral. Literalmente, hay un «cuadro en la cabeza»; las áreas cerebrales son un soporte fidedigno de las representaciones pictóricas. Y al menos dos de estas áreas organizadas topográficamente (las más amplias) también se activan cuando los sujetos cierran los ojos y visualizan objetos con tal claridad que pueden «ver» pequeños detalles (Kosslyn y Thompson, 2003). Por otra parte, el tamaño y la orientación de la imagen afecta a la activación de dichas áreas de modo muy parecido a cómo las personas ven realmente objetos con tamaños u orientaciones diferentes (Klein *et al*., 2003; Kosslyn *et al.,* 1995). De hecho, una alteración temporal del funcionamiento neural de estas áreas altera temporalmente tanto la percepción visual como las imágenes visuales mentales —y lo hace en la misma medida (Kosslyn *et al*., 1999)—.

Sin embargo, algunos pacientes que tienen lesionadas estas áreas aparentemente retienen al menos algún tipo de imágenes (*véase*, p. ej., Behrmann, 2000; Goldenberg *et al*., 1995); por lo tanto, queda por determinar cuál es el papel exacto de estas áreas en las imágenes. Si investigaciones futuras demostraran de modo concluyente que al menos algunos tipos de imágenes se basan en representaciones pictóricas en áreas del cerebro organizadas topográficamente, el debate o bien acabaría o bien se vería forzado a cambiar de dirección.

# 3 El cerebro cognitivo

Se han escrito libros y libros sobre el cerebro, pero afortunadamente no tenemos que preocuparnos aquí por la mayoría de esa avalancha de información. Más bien, debemos atender sólo a aquellos aspectos que puedan tener relación con las teorías de la actividad mental. En este apartado se ofrece una breve panorámica general, que se irá completando en capítulos posteriores según sea necesario. Aunque se señalan las funciones principales de las diferentes estructuras cerebrales, hemos de hacer hincapié desde el principio en que prácticamente ninguna de las funciones cognitivas es efectuada *sólo* por una única área cerebral. Antes bien, como se expondrá en capítulos posteriores, el trabajo conjunto de diferentes sistemas de áreas cerebrales permite realizar tareas específicas. No obstante, cada área del cerebro interviene en ciertas funciones y no en otras —y conocer estas funciones nos ayudará a entender análisis posteriores—.

## 3.1. Las neuronas: los elementos que componen el cerebro

¿Qué tienen que ver las neuronas con los procesos mentales? Esto es algo así como preguntarse qué tienen que ver las propiedades de los ladrillos, los paneles y el acero con la arquitectura. Es cierto que la arquitectura no puede reducirse a esos compontes pero éstos, no obstante, influyen en ella. Por ejemplo, Londres (Inglaterra), es una ciudad relativamente llana y extensa debido a que, en su mayor parte, se construyó antes de que pudiera disponerse fácilmente de acero —y no se pueden construir rascacielos sólo con ladrillos porque el peso de las plantas superiores llega a ser tanto que las paredes a ras del suelo no lo pueden resistir—. Aunque los materiales de construcción no *determinan* el modo en que se utilizan, limitan —*restringen*— los tipos de arquitectura posibles. Lo mismo ocurre con los elementos del sistema nervioso. Como se verá en este libro, la naturaleza de las neuronas y el modo en que interactúan sustentan diversas teorías de cómo grupos extensos de neuronas pueden llevar a cabo la actividad mental.

La actividad del cerebro proviene fundamentalmente de la actividad neuronal. Las *neuronas sensoriales* se activan por *input* procedentes de órganos sensoriales, tales como los ojos y los oídos; las *neuronas motoras* estimulan los músculos, produciendo movimientos. Las *interneuronas*, la inmensa mayoría de las neuronas del encéfalo, se encuentran entre las neuronas sensoriales y las motoras o entre otras interneuronas; a menudo las interneuronas están conectadas entre sí formando vastas redes. Además de los aproximadamente 100.000 millones de neuronas, el encéfalo también contiene *neurogliocitos*[7]. Inicialmente se creía que éstos intervenían tan sólo en el sostén y la alimentación de las neuronas, pero ahora se considera que juegan un papel crucial en cómo se establecen las conexiones entre las neuronas (Ullian *et al*., 2001). Asimismo modulan las interacciones químicas entre neuronas (Newman y Zahs, 1998). En el encéfalo hay aproximadamente diez veces más de neurogliocitos que de neuronas.

Las partes más importantes de una neurona (Figura 1-6) son las dendritas, el axón y el soma celular. Las *dendritas*, al igual que el *soma celular*, reciben *input* de otras neuronas, mientras que el *axón* transmite el *output* a otras neuronas. Por lo general,

[7] O células gliales. *(N. del T.)*

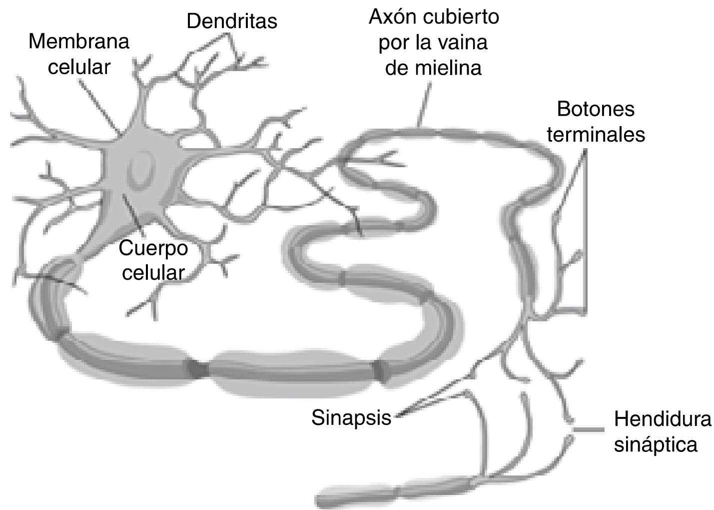



**FIGURA 1-6** Estructura de una neurona

Las neuronas tienen partes distintas que desempeñan diferentes papeles en el procesamiento de la información.

el axón está recubierto de mielina, una capa aislante grasa que mejora la transmisión. Una neurona típica tiene miles de dendritas, y el axón se ramifica en su extremo final de modo que cada neurona puede afectar a su vez a miles de otras. La conexión entre neuronas se llama *sinapsis,* y el espacio que existe en la sinapsis se denomina *hendidura sináptica*. La mayoría de las neuronas afectan a otras liberando *neurotransmisores* específicos por el extremo del axón a través de pequeñas estructuras, llamadas *botones terminales*. Los neurotransmisores cruzan la hendidura sináptica, desplazándose del axón de una neurona a las dendritas de otra (o, en ocasiones, directamente a la membrana de la célula, la cobertura externa del soma celular).

Los efectos de un neurotransmisor dependen de los *receptores* presentes en el extremo receptor. El ejemplo más frecuente es la de una cerradura y su llave: el principio químico corresponde a la llave y el receptor a la cerradura. Cuando la «molécula mensajera» apropiada, el neurotransmisor, se une a un receptor, éste puede excitar a la neurona (haciéndola más activa) o inhibirla (atenuando su actividad). El mismo neurotransmisor puede tener diferentes efectos según la naturaleza del receptor. Si el *input* excitador que llega a una neurona es suficientemente mayor que el *input* inhibidor, la neurona producirá un *potencial de acción*; esto es, «disparará». Las neuronas siguen la ley del «todo o nada»: o disparan o no disparan.

## 3.2. Estructura del sistema nervioso

Habitualmente se distinguen dos partes principales en el sistema nervioso: el *sistema nervioso central* (SNC) y el *sistema nervioso periférico* (SNP). El SNC está compuesto por el encéfalo[8] y la médula espinal. El SNP consta del sistema nervioso esquelético

[8] Habitualmente denominado «cerebro». En rigor, el cerebro consiste en los niveles superiores del encéfalo (telencéfalo y diencéfalo. *(N. del T.)*

y el *sistema nervioso autonómo* (SNA)[9]. Empezaremos por el más básico y (en términos evolutivos) el más antiguo, el SNP; y después volveremos al encéfalo propiamente dicho.

### 3.2.1. Sistema nervioso periférico

El sistema esquelético controla los músculos *estriados* (es decir, con «estrías» o «bandas» muy finas), que se encuentran bajo control voluntario. El sistema esquelético juega un papel clave en la cognición motora y en la simulación mental (Capítulo 11). En contraposición, la mayoría de las funciones del SNA las desempeñan los músculos lisos, pero además el SNA también rige ciertas glándulas. Los músculos lisos, que se encuentran en el corazón, los vasos sanguíneos, las paredes del estómago y los intestinos por lo general no se controlan voluntariamente. El SNA juega un papel clave en las emociones y también influye en el modo en que opera la memoria.

Tradicionalmente, el SNA se divide en dos partes principales: el sistema *nervioso simpático* y el *parasimpático*. El *sistema nervioso simpático* prepara a un animal para responder de forma más enérgica y precisa durante una emergencia. Entre otras cosas:

- aumenta la frecuencia cardiaca (de modo que se suministran más oxígeno y nutrientes a los órganos),
- aumenta la frecuencia respiratoria (aportando así más oxígeno),
- dilata las pupilas (lo que resulta en una mayor sensibilidad a la luz),
- hace que las palmas de las manos transpiren (lo que proporciona mayor agarre),
- reduce las funciones digestivas, incluida la salivación (poniéndolas «en suspenso») y
- relaja la vejiga (deteniendo así otra función que no es importante en una emergencia).

Estos cambios preparan al organismo para superar un reto o conseguir huir, y suelen denominarse *respuesta de lucha o huida*. ¿Por qué hemos de ocuparnos de esta respuesta en un libro sobre la cognición? Por un motivo: los acontecimientos en torno a esta respuesta pueden de hecho beneficiar la memoria (Capítulo 5), al tiempo que pueden alterar el razonamiento (Capítulo 10).

Nosotros, los seres humanos modernos, tenemos el mismo sistema nervioso simpático que sirvió bien a nuestros antepasados, pero en la actualidad sus respuestas pueden ser activadas por estímulos muy distintos a los que se daban en épocas anteriores. Si a usted se le pide durante su entrevista de trabajo que explique algún punto débil de su currículum, puede que no acierte a dar típica respuestas características de lucha o huida, tan adaptativas —¡no es fácil dar explicaciones con el corazón al galope y la boca seca!—.

El sistema *nervioso parasimpático* contrarresta de varias maneras la acción del sistema nervioso simpático. Mientras que el sistema nervioso simpático tiende a acelerar los acontecimientos fisiológicos, el sistema parasimpático los atempera. Además, mientras que el sistema nervioso simpático produce una amplia constelación de efectos (produciendo activación en general), el sistema parasimpático actúa sobre órganos individuales o pequeños grupos de órganos. En una entrevista de trabajo, usted se

---

[9] O neurovegetativo. *(N. del T.)*

siente aliviado cuando el entrevistador pasa de un punto de su currículum a otro en el que se siente en terreno más seguro ¿y el sistema nervioso parasimpático entonces mitiga la respuesta de lucha o huida que estaba tratando de contener?

### 3.2.2. La corteza cerebral

Pasemos ahora a considerar el sistema nervioso central, específicamente el cerebro —sede de la actividad mental—. Imaginemos que estamos en un laboratorio de neuroanatomía diseccionando un cerebro humano. Lo primero que vemos, cubriendo la superficie del cerebro, es la más exterior de tres membranas, llamadas *meninges*. Tras ponerse guantes de cirugía (algo absolutamente necesario para protegerse de los virus), se despegan las meninges para dejar a la vista una compleja red de vasos sanguíneos adherida a la superficie del encéfalo, al igual que la hiedra se adhiere a una pared. En la parte más externa del encéfalo se hallan la mayoría de los somas celulares de las neuronas, que son de color gris: de ahí el término «sustancia gris». Estas células constituyen una capa de unos dos milímetros de espesor, que recibe el nombre de *corteza cerebral*. La corteza del cerebro está muy plegada. Estos pliegues hacen posible que una mayor cantidad de corteza tenga cabida en el cráneo. Cada abultamiento se llama *circunvolución* y cada hendidura, *surco*. Las diversas circunvoluciones y surcos tienen cada uno su nombre y, como se verá a lo largo de este libro, se ha comprobado que muchos de ellos intervienen en actividades mentales determinadas.

En nuestro laboratorio de neuroanatomía disponemos de un escalpelo así como de guantes quirúrgicos. Seccionamos ahora el encéfalo y examinamos su interior. Está lleno de fibras blancas (color que da lugar al término «sustancia blanca»), las cuales conectan las neuronas entre sí. Seguimos profundizando hasta encontrar las *estructuras subcorticales* (llamadas así porque se localizan debajo de la corteza), que contienen sustancia gris y —en el centro mismo del encéfalo—una serie de cavidades que se comunican entre ellas, los *ventrículos*. Éstos están llenos del mismo líquido que circula en el interior de la médula espinal.

En vez de considerar el cerebro como una sola entidad es mejor hacerlo como un conjunto de elementos que trabajan juntos, del mismo modo que una mano es un conjunto de huesos, tendones y músculos, todos ellos dependiendo unos de otros para desempeñar las funciones de la mano. De lo que primero nos percatamos en el laboratorio de neuroanatomía es que el encéfalo se divide en dos mitades, los *hemisferios cerebrales* izquierdo y derecho. Aunque las mismas estructuras físicas existen en los dos hemisferios cerebrales, éstos pueden diferir tanto en cuanto a tamaño como a funciones (como se estudiará más adelante). En el interior del cerebro, los hemisferios están conectados por un extenso conjunto de fibras nerviosas (unos 250 o 300 millones), llamado el *cuerpo calloso*, así como por varias conexiones más pequeñas y menos importantes.

La neuroanatomía moderna divide cada hemisferio en cuatro partes principales, o *lóbulos*: el *occipital*, en la parte posterior (trasera) del encéfalo; el *temporal*, justo debajo de las sienes; el *parietal*, en la parte superior (de arriba) y posterior del encéfalo; y el *frontal*, en la parte anterior (delantera) del mismo, detrás de la frente (Figura 1-7). Los lóbulos recibieron su nombre de los huesos del cráneo que los recubre; de ahí que esta clasificación del encéfalo sea algo arbitraria por ello, ¿no debería sorprendernos descubrir que las actividades mentales no están exactamente asignadas a uno u otro lóbulo? No obstante, al menos algunos procesos y representaciones mentales tienen

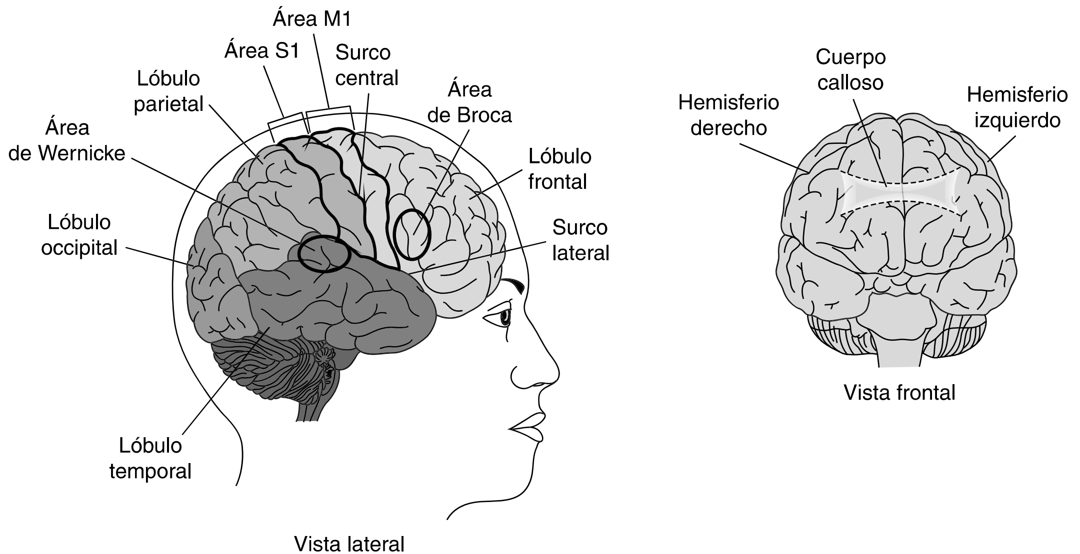



**FIGURA 1-7** Lóbulos y regiones principales del encéfalo

Las regiones anatómicas del encéfalo se corresponden sólo de un modo aproximado con distintas funciones, pero, sin embargo, estas delimitaciones son un modo útil de describir la localización de las funciones en el encéfalo. Se emplean términos específicos para describir la localización en el cerebro: *medial* significa cerca de la línea media; por lo tanto, las vistas mediales muestran la cara interna del encéfalo. *Lateral* significa hacia los lados, lejos de la línea media; así pues, las vistas laterales muestran la superficie externa de la corteza cerebral. También se emplean los términos *dorsal* (la parte «trasera») y *ventral* (el lado «estomacal»). Dado que nos mantenemos de pie totalmente erguidos, estos términos no tienen un sentido literal cuando se aplican al encéfalo humano pero, por costumbre, *dorsal*, al igual que *superior*, se refiere a «encima» y *ventral*, así como «inferior», se refiere a «debajo».

lugar principalmente en un lóbulo específico, y pueden hacerse algunas generalizaciones sobre las diferentes funciones de los diversos lóbulos. Pero siempre ha de tenerse en cuenta que los diversos lóbulos trabajan conjuntamente, así como los huesos, tendones y músculos de la mano.

Los lóbulos occipitales procesan exclusivamente *input* visual, procedente tanto de los ojos como de la memoria (al menos en algunos casos, como imágenes mentales). Si usted resbala mientras patina y cae de espaldas sobre la cabeza, es posible que «vea las estrellas». Este efecto visual (que no compensa el dolor que causa) ocurre porque el impacto causa compresión de las neuronas de los lóbulos occipitales. Es interesante señalar que si miramos fijamente al frente, el lóbulo occipital izquierdo recibe *input* de la parte derecha del espacio y el lóbulo occipital derecho lo recibe del lado izquierdo. ¿Por qué? La parte posterior del ojo, la retina, es en realidad una parte del cerebro que ha sido «empujada» hacia delante durante el desarrollo (Dowling, 1992); de ahí que la parte izquierda de cada ojo (no sólo el ojo izquierdo) esté conectada con la parte izquierda del cerebro, y que la parte derecha de cada ojo (no sólo el ojo derecho) lo esté con la parte derecha del cerebro. Cuando miramos fijamente al frente, la luz que procede de la izquierda incide en el lado derecho de cada ojo, y la luz que viene de la derecha lo hace en el lado izquierdo de cada ojo. La visión, como todas las funciones cognitivas, se efectúa en sí misma mediante un conjunto de representaciones y procesos diferenciados. De hecho, los lóbulos occipitales contienen numerosas áreas diferentes, cada una de las cuales juega un papel decisivo en un aspecto diferente

de la visión. Por ejemplo, algunas áreas procesan principalmente el movimiento; otras el color y otras la forma. Si el lóbulo occipital está dañado se origina una ceguera parcial o total.

Los lóbulos temporales están involucrados en muchos tipos diferentes de funciones. Una de ellas es retener los recuerdos visuales. Además, reciben *input* de los lóbulos occipitales y emparejan el *input* visual con los recuerdos visuales. Cuando ya se ha almacenado una imagen de lo que se está viendo en el momento, este proceso de emparejamiento hace que el estímulo resulte familiar. Los lóbulos temporales también procesan información procedente de los oídos, y en la parte posterior del lóbulo temporal izquierdo se halla el *área de Wernicke*, que es esencial para la comprensión del lenguaje. En la parte anterior (esto es, frontal) de los lóbulos temporales hay un serie de áreas que son imprescindibles para almacenar nueva información en la memoria, así como áreas que intervienen en atribuir significado y en la emoción.

Los lóbulos parietales desempeñan una función importante en nuestra representación del espacio y en la relación con él. En la más frontal de las circunvoluciones de los lóbulos parietales, la *corteza somatosensitiva*[10] (área S1), se representan sensaciones que provienen de diferentes partes del cuerpo. El área S1 está organizada de tal modo que diferentes partes del cuerpo están representadas en diferentes partes de la corteza. Además, el área S1 del hemisferio izquierdo registra las sensaciones de la parte derecha del cuerpo, y viceversa respecto al hemisferio derecho. Los lóbulos parietales son también importantes para la consciencia y la atención. Por otra parte, también participan en el razonamiento matemático. Albert Einstein (1945) explicó que al razonar se basaba en imágenes mentales y que frecuentemente imaginaba el «que ocurriría si...». Esto puede resultar interesante: tras su muerte los investigadores descubrieron que sus lóbulos parietales eran aproximadamente un 15 por ciento mayores de lo normal (Witelson *et al.*, 1999).

Los lóbulos frontales están implicados, en líneas generales, en organizar la secuencia de conductas o actividades mentales. Juegan un papel primordial en la generación del lenguaje: el *área de Broca* se localiza normalmente en la tercera circunvolución frontal del hemisferio izquierdo; esta área es esencial para programar los sonidos del habla. Muchas otras áreas de los lóbulos frontales están involucradas en el control de los movimientos. La circunvolución más posterior de los lóbulos frontales se denomina *corteza motora primaria* (área M1; también llamada *banda motora*). Esta área controla los movimientos motores finos, como los que usted requiere para escribir su *curriculum vitae*. Al igual que S1, M1 está organizada de tal forma que diferentes partes de la corteza se relacionan con diferentes partes del cuerpo. El hemisferio izquierdo M1 controla la parte derecha del cuerpo y viceversa. Los lóbulos frontales también participan en la búsqueda de información específica almacenada en la memoria, en la planificación y el razonamiento, así como en el almacenamiento momentáneo de la información en la memoria de modo que pueda recurrirse a ella en el razonamiento, en algunas emociones e incluso, en la personalidad (Davidson, 1998, 2002). Es obvio que los lóbulos frontales son claves para ayudarle a decidir qué clase de trabajo buscar, y que jugarán un papel importante en que usted pueda desempeñar bien la profesión elegida.

Aunque muchas funciones están duplicadas en el lóbulo correspondiente de los dos hemisferios (al igual que existen dos pulmones o dos riñones), en algunos casos

---

[10] También llamada somatosensorial. *(N. del T.)*

los lóbulos funcionan de modo distinto en los lados izquierdo y derecho. Por ejemplo, en el lóbulo parietal del hemisferio izquierdo existen representaciones que describen las relaciones espaciales (tal como «un objeto está *encima* de otro»), mientras que en el derecho hay representaciones de distancias perdurables (Laeng *et al.*, 2002). De cualquier modo, aunque los hemisferios están especializados en funciones diferentes, en la mayoría de los casos la diferencia es una cuestión de grado, no de tipo. Excepto en lo que respecta a ciertas funciones lingüísticas, por lo general ambos hemisferios pueden desempeñar la mayoría de las funciones, pero quizá no igual de bien (Hellige, 1993).

### 3.2.3. Áreas subcorticales

Las áreas subcorticales del cerebro humano (Figura 1-8) a menudo parecen ser muy similares a las de otros animales; los investigadores sugieren que estas áreas desempeñan funciones similares en diversas especies. Esto no quiere decir que dichas áreas realicen funciones simples: por lo general llevan a cabo funciones complejas, bien esenciales para la vida, bien fundamentales para la supervivencia del organismo.

El *tálamo* suele considerarse como un prototipo de estación de relevo en la transmisión de la información. Los órganos sensoriales, tales como el ojo y el oído, al igual que las zonas del encéfalo involucradas en el control de los movimientos voluntarios, envían fibras al tálamo; y el tálamo, a su vez, envía fibras que se distribuyen ampliamente por todo el encéfalo. El tálamo ocupa una situación idónea para regular el flujo de información en el encéfalo. Y así lo hace: la *atención* es el aspecto selectivo del procesamiento de la información y partes del tálamo desempeñan una función

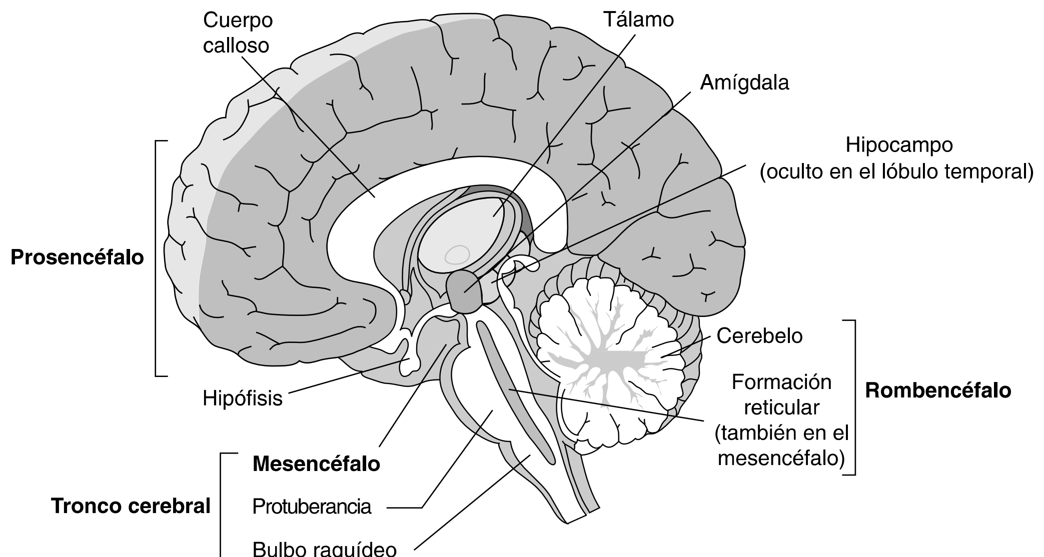



**FIGURA 1-8** Principales áreas subcorticales del encéfalo

El encéfalo de los mamíferos se divide en *prosencéfalo, mesencéfalo* y *rombencéfalo*. En los mamíferos no humanos estas regiones se sitúan básicamente de adelante hacia atrás. En los seres humanos, «*rombencéfalo*» parece un término inapropiado debido tanto a la postura humana como a la expansión evolutiva del prosencéfalo sobre el mesencéfalo y el rombencéfalo.

primordial en la atención. El *núcleo pulvinar* (en neuroanatomía, un núcleo es un conjunto de células) participa en el proceso de centrar la atención. El tálamo es asimismo importante para el control del sueño.

Justo debajo del tálamo se encuentra el *hipotálamo*, que controla muchas funciones del cuerpo, incluyendo mantener constante la temperatura corporal y la tensión arterial, la ingesta de comida y de bebida, conservar la frecuencia cardiaca dentro de límites apropiados y regular la conducta sexual. Algunas de estas funciones se efectúan mediante diversas hormonas (sustancias químicas que actúan sobre diversos órganos y que pueden incluso modular la actividad de las neuronas), reguladas por el hipotálamo.

El *hipocampo* se localiza en el polo anterior de los lóbulos temporales, plegado en su interior. Su estructura interna y sus conexiones con otras áreas le permiten representar un importante papel en la entrada de nueva información en la memoria. El hipocampo en sí mismo no es el almacén de nuevos recuerdos, más bien rige procesos que permiten que los recuerdos se almacenen en otra parte del encéfalo (como por ejemplo, en otras regiones del lóbulo temporal).

La *amígdala* (llamada así, debido a su forma, por la palabra griega para «almendra») se asienta cerca del hipocampo, para lo que hay una buena razón. La amígdala es esencial tanto para apreciar las emociones de los demás como para generar conductas que expresan nuestras propias emociones, especialmente el miedo. La amígdala puede modular el funcionamiento del hipocampo, relación que nos ayuda a guardar recuerdos vividos con alta carga emocional. La amígdala y el hipotálamo sirven para conectar el SNC con el SNP. Ambas estructuras son decisivas para desencadenar respuestas de lucha o huida.

La amígdala y el hipocampo, junto con otras varias estructuras subcorticales, forman parte del *sistema límbico*. Hubo un tiempo en el que los investigadores creían que el sistema límbico regulaba la emoción, pero ahora esto se considera incorrecto. No sólo hay ciertas partes del sistema límbico que sirven para otros propósitos (como la codificación de nuevos recuerdos) sino que también otras estructuras (como los lóbulos frontales) están involucradas en la emoción (Davidson, 2002; LeDoux,1996).

Los *ganglios basales* tienen una importancia fundamental para la vida diaria, permitiéndonos planificar los movimientos y adquirir hábitos. ¿Podríamos imaginarnos cómo sería la vida si tuviéramos que pensar cada cosa cada vez que la hiciéramos? Pensemos en la diferencia entre la segunda ocasión en la que fuimos a un aula determinada en el sótano de un edificio desconocido (que ahora recordamos de la visita previa) y la décima vez que nos encaminamos hacía ella. Sin los ganglios basales, cada visita sería como aquella segunda vez, con esfuerzo y en alerta. Los ganglios basales se sitúan en el lado externo del tálamo. El *núcleo accumbens*, una estructura que está cerca de los ganglios basales y que a veces se considera parte de ellos, cumple una importante función en el aprendizaje. Como remarcaban los conductistas, los animales aprenden una conducta cuando ésta produce una consecuencia placentera. (Si usted establece contacto visual con el entrevistador y recibe a cambio una cálida sonrisa, volverá a establecer otra vez contacto visual más adelante en la entrevista.) Esta feliz consecuencia se denomina *recompensa*. El núcleo *accumbens* informa a otras áreas del encéfalo cuando ha tenido lugar una recompensa (Tzschentke y Schmidt, 2001), tanto cuando un animal está recibiendo en el momento actual una recompensa como cuando sólo anticipa que la va a recibir (Hall *et al*., 2001; Knutson *et al*., 2001; Pagnoni *et al*., 2002). Así pues, estudiando el cerebro los investigadores

han descubierto que un estado mental —anticipación— puede afectar al cerebro de tal modo que a su vez mejora el aprendizaje.

El *tronco del encéfalo* se localiza en la base del encéfalo y contiene muchas estructuras que reciben información de la médula espinal y le envían información. Un conjunto de pequeñas estructuras, llamado globalmente *formación reticular*, está implicado en el control del sueño y el estado de vigilia. Algunas de las neuronas de esta estructura neural producen *neuromoduladores*, sustancias químicas que afectan a zonas distantes del encéfalo. (Estas sustancias químicas hacen justo lo que su nombre sugiere: alteran, o modulan, las funciones de las neuronas.) La *protuberancia* («puente» en latín) conecta el tronco del encéfalo con el cerebelo y contribuye a funciones que llevan a cabo ambas estructuras, tales como controlar el sueño y hacer expresiones faciales.

Por último, el *cerebelo* se ocupa de la coordinación física. También se relaciona con algunos aspectos de la atención y con la estimación del tiempo. La superficie del cerebelo es similar a la de la corteza cerebral, lo cual implica que es una estructura que participa en muchos procesos complejos; los investigadores tan sólo han comenzado a comprender sus funciones.



### Control de comprensión



1. ¿Cuáles son los cuatro lóbulos de cada hemisferio cerebral?
2. ¿Qué funciones desempeñan las principales estructuras subcorticales?

## 4 Estudio de la cognición

La cognición se investiga en muchos campos, cada uno de los cuales utiliza un enfoque diferente. Cuando se concibió la *Psicología cognitiva* se centró exclusivamente en el nivel del procesamiento de la información (*véase,* p. ej., Lindsay y Norman, 1977; Neisser, 1967). La *inteligencia artificial* (IA), centrada en el mismo nivel de análisis, es el campo en el que los investigadores intentan programar ordenadores para realizar tareas cognitivas. Muchos investigadores de IA creen que la cognición es tan compleja que imaginando cómo elaborar un sistema de procesamiento que la ejecute de modo comparable a cómo lo hacen los seres humanos llevará a entender la cognición humana. (Minsky, 1986). Ni la Psicología cognitiva inicial ni la inteligencia artificial prestan mucha atención al modo en que tal procesamiento de la información tiene lugar en el cerebro. Pero incluso los entusiastas de los ordenadores han reparado en que no es del todo exacto asumir que el procesamiento de la información es independiente de la máquina en sí misma: ciertos programas informáticos se basan en características específicas del *hardware*, tales como el que haya una cierta cantidad de RAM o una tarjeta específica de gráficos o de sonido. El estudio del *hardware* puede conducir a un buen conocimiento sobre lo que hace una máquina y cómo funciona.

De hecho, profundizando en este punto de vista, otros investigadores argumentan que conocer el funcionamiento del *hardware* con detalle suficiente nos permite entender su función. La *Neurociencia* pretende entender el «*wetware*», el cerebro en sí mismo, que igualmente ha de entenderse a diferentes niveles de análisis. En un extremo,

hemos de entender la naturaleza de los sucesos genéticos y moleculares que regulan las células para saber cómo funciona cada neurona individual; en el otro extremo, hemos de entender las funciones de los lóbulos y las interacciones entre las diferentes regiones del cerebro para saber cómo opera el encéfalo globalmente. Las teorías de interacciones a tan gran escala entre áreas cerebrales se han fundido con teorías del procesamiento de información (cf. Dowling, 1992).

La *Neurociencia cognitiva* se sitúa en la intersección de la Neurociencia y la Psicología cognitiva. La idea directriz es que «la mente es el resultado de lo que hace el cerebro». La cognición es procesamiento de información, pero procesamiento de información llevado a cabo por un cerebro con características específicas. Por lo tanto, la Neurociencia cognitiva utiliza el conocimiento del cerebro, como por ejemplo la existencia de áreas cerebrales especializadas en diferentes procesos, para elaborar teorías de sistemas de procesamiento. En cualquier caso, como indica el nombre del enfoque, en el que *neurociencia* es el sustantivo modificado por el adjetivo *cognitiva*, la Neurociencia cognitiva se centra en entender el cerebro en sí mismo: ¿qué hacen sus diferentes partes y cómo interaccionan?

Este libro se centra en el tema de la Psicología cognitiva —el estudio de la actividad mental— y en él se recurre a campos relacionados para avanzar en la investigación. Nuestro objetivo es doble: integrar lo que se ha averiguado sobre la cognición basándose en diversos enfoques e integrar el cerebro en los enfoques de laboratorio tradicionales de la Psicología cognitiva. Según lo concebimos, el objetivo de la nueva Psicología cognitiva es entender la actividad mental tan bien que se pueda programar un ordenador para simular el modo en el que un cerebro funciona cuando realiza una tarea.

## 4.1. Pruebas convergentes de las disociaciones y las asociaciones

Lo primero que se observará a medida que avancemos es que existe un gran número de métodos diferentes. Ningún método es perfecto: todos tienen limitaciones y posibles problemas. Pero —y éste es un punto crucial— tienen *diferentes* limitaciones y posibles problemas. Utilizar varios métodos diferentes tiene dos resultados convenientes. Primero, se puede esbozar un cuadro más completo. Por ejemplo, algunas tipos de técnicas de neuroimagen (también llamados de exploración [*scanning*] cerebral) requieren un tiempo relativamente largo para obtener una imagen, pero pueden detectar cambios en zonas relativamente pequeñas del cerebro, y lo contrario es válido para otros métodos de neuroimagen. Mediante ambos tipos de métodos, los investigadores pueden averiguar diferentes aspectos del mismo fenómeno. Segundo, los resultados de cualquier estudio rara vez son concluyentes; los resultados hallados con cualquier método, generalmente admiten más de una interpretación. Pero si los resultados de diferentes metodologías apuntan todos en la misma dirección, los puntos débiles de cualquiera de los métodos se compensan con los puntos fuertes de otro. Así, la **evidencia convergente**, diferentes tipos de resultados que implican la misma conclusión, se encuentra en el núcleo de las investigaciones fructíferas en Psicología cognitiva.

Muchos de los métodos en Psicología cognitiva se utilizan para lograr dos tipos generales de objetivos. El primero es establecer una **disociación**, es decir, establecer que una actividad o variable afecta a la ejecución de una tarea (o un aspecto de ella)

pero no a otra. Una disociación, por lo tanto, es una prueba de la existencia de un proceso específico. Por ejemplo, Alan Baddley (1986) argumentó que las personas pueden usar al menos dos tipos distintos de estructuras de «memoria de trabajo»: una que mantiene brevemente información visuoespacial y otra que mantiene brevemente información articulatoria verbal. Si miramos un número de teléfono y lo mantenemos en la mente mientras atravesamos la habitación hasta el teléfono, estamos manteniendo esa información en la memoria de trabajo [operativa] articulatoria verbal. Por el contrario, si se nos da un croquis de cómo encontrar la oficina donde tendrá lugar una entrevista de trabajo, podremos mantener el mapa en la memoria operativa visuoespacial tras entrar en el edificio y caminar por las salas. La prueba principal de la existencia de estos dos tipos de estructuras de memoria es una disociación entre los dos tipos de memoria en los efectos de diferentes clases de interferencia. Tener en cuenta retrocesos altera la capacidad de retener información articulatoria verbal, pero no información visuoespacial. En contraposición, tener que trazar una ruta a través de un laberinto tiene el efecto opuesto. En este ejemplo, tenemos una **doble disociación**: en el presente caso, una actividad o variable afecta a un proceso, pero no al otro; y una segunda actividad o variable tiene las propiedades contrarias (véase, p.ej., Sternberg, 2003). Las dobles disociaciones son una prueba sólida de la existencia de dos procesos distintos, y pueden obtenerse con prácticamente todos los métodos que se emplean en Psicología cognitiva.

Además de las disociaciones, los psicólogos cognitivos tratan de probar las asociaciones. Una **asociación**, en este sentido, ocurre cuando los efectos que una actividad o variable sobre una tarea se acompañan de efectos sobre otra. Estos efectos compartidos indican que están siendo afectados representaciones comunes o procesos. Por ejemplo, si alguien sufre un daño cerebral que produce dificultad para reconocer caras (lo cual sucede en la realidad y se explica en el Capítulo 2), podríamos querer comprobar si el paciente tiene también problemas para establecer imágenes mentales de caras. De hecho, si los pacientes tienen uno de estos problemas, suelen tener el otro. Esta asociación sugiere que la percepción y las imágenes mentales comparten una representación o proceso común.

Todo esto en cuanto a objetivos y enfoques generales. ¿Cómo lo hacemos realmente? ¿Cómo recopilamos, de hecho, observaciones —datos— y formulamos teorías? Los investigadores en Psicología cognitiva plantean una amplia serie de preguntas acerca del procesamiento de la información, y para responderlas pueden emplearse muchos métodos diferentes. En este libro se verá cómo diferentes métodos se complementan unos con otros, y cómo los investigadores han utilizado métodos de un modo perspicaz para descubrir algunos de los secretos de una de las creaciones más intrincadas e intrigantes de la naturaleza: la mente humana. De modo que, para orientarnos, abramos la caja de herramientas y veamos qué contiene.

## 4.2. Métodos comportamentales

Un **método comportamental** determina el comportamiento que puede observarse directamente, como puede ser el tiempo de respuesta o la exactitud de una respuesta. Los investigadores intentan extraer conclusiones sobre las representaciones internas y el procesamiento a partir de dichas respuestas directamente observables. La Tabla 1-1 resume las principales medidas y métodos comportamentales que se utilizan en Psico-

**TABLA 1-1** Principales medidas y métodos comportamentales utilizados en Psicología cognitiva

| Medida o método | Ejemplo | Ventajas | Limitaciones |
|---|---|---|---|
| Exactitud (porcentaje de acierto o de error) | Evocar recuerdos, como tratar de recordar los principales requisitos de un trabajo durante una entrevista | Medida objetiva de la eficacia del procesamiento | Efecto «techo» (no hay diferencias debido a que la tarea es demasiado fácil); efecto «suelo» (no hay diferencias debido a que la tarea es demasiado difícil); compensación velocidad-exactitud («adelantarse a los acontecimientos») |
| Tiempo de respuesta | Tiempo que se tarda en responder a una pregunta concreta, como si se sabe cuáles son los requisitos de un trabajo determinado | Medida objetiva y sutil del procesamiento, incluyendo el procesamiento inconsciente | Sensible a los efectos de expectativa experimental y a los de requerimientos de la tarea; compensación velocidad-exactitud |
| Juicios | Valorar en una escala de siete puntos cuán satisfactoria piensa que ha sido la entrevista | Puede evaluar reacciones subjetivas; recogida de datos fácil y económica | Posibilidad de que los sujetos no sepan cómo usar la escala, no tengan acceso consciente a la información o no sean sinceros |
| Recoger protocolos (decir en voz alta lo que se piensa sobre un problema) | Debatir los pros y los contras de diversas posibilidades de trabajo | Puede revelar la secuencia de pasos del proceso | No puede aplicarse a la mayoría de los procesos cognitivos, que ocurren inconscientemente y en fracciones de segundo |

logía cognitiva así como sus ventajas y desventajas primordiales. Haremos aquí una breve pausa para hacer algunas observaciones acerca de los métodos comportamentales más importantes.

En primer lugar, la exactitud con la que los sujetos realizan una tarea se utiliza para abordar una amplia serie de tipos de procesamiento, que van desde aquellos que requieren discriminar (ya sea basándose en la percepción o en la memoria) a aquellos que requieren recuerdo. No obstante, contando con todas las medidas de exactitud, los investigadores han de tener precaución ante dos riesgos posibles:

1. Si la tarea es demasiado fácil, los sujetos del estudio pueden manifestar un *efecto de techo*, razón por la que no se ven diferencias en las respuestas debido a que todos los sujetos consiguen la máxima puntuación posible. Por ejemplo, si queremos saber si la emoción favorece la memoria y lo sometemos a prueba con sólo dos elementos con alta carga emocional y dos neutros, los sujetos recordarán todos los elementos tan bien que no se revelará diferencia alguna. Pero este resultado no significa que no exista diferencia, simplemente que la prueba era demasiado fácil para demostrarlo. De modo similar, si la tarea es demasiado difícil, los sujetos pueden presentar un *efecto de suelo*, por el que no se observan diferencias en las respuestas, ya que los sujetos lo están haciendo tremendamente mal en todos los casos.

2. Los sujetos pueden cometer errores porque se están precipitando, esto es, responden antes de estar preparados para ello. Esta pauta de respuesta produce una *compensación entre velocidad y exactitud,* según lo cual los errores aumentan a medida que el tiempo de respuesta disminuye. Dicha compensación sólo puede detectarse si el tiempo de respuesta se evalúa al mismo tiempo que la exactitud. Así pues, como regla, las dos medidas deben registrarse a la vez. Dicho sea de paso, este problema no se limita al laboratorio: las compensaciones entre velocidad y exactitud pueden ocurrir en la vida real, razón por la que uno ha de asegurarse de reflexionar sus decisiones: es muy acertado el refrán «la prisa es mala consejera».

En segundo lugar, una gran cantidad de estudios de Psicología cognitiva se basan en medidas de cuánto tiempo tardan los sujetos en responder cuando han de emitir un juicio. En general, los sujetos necesitarán más tiempo para responder cuando una tarea requiere más procesamiento cognitivo.

Por último, algunos investigadores recogen asimismo juicios de diversos tipos (tales como estimaciones de confianza de que un sujeto recuerda la información correctamente) y otros recogen protocolos (tales como registros de lo que los sujetos dicen que están haciendo mientras trabajan en un problema).

En general, los métodos estrictamente comportamentales tienden a presentar una cierta cantidad de problemas:

1. A veces la velocidad de respuesta de los sujetos cambia tras imaginarse qué es lo que espera el investigador, intentando, quizá inconscientemente, cooperar. La influencia del investigador en las respuestas de los sujetos es conocida como *efectos de expectativa experimental*.
2. Los sujetos pueden responder a los *requerimientos de la tarea*, aspectos de la tarea en sí misma que los sujetos creen que les requiere responder de una manera determinada. Por ejemplo, los resultados de experimentos de exploración de las imágenes mentales podrían reflejar tales requerimientos de la tarea. (Pylyshyn, 1981, 2002, 2003). En estos experimentos, se les pide a los sujetos que exploren la imagen visual mental de un objeto, con los ojos cerrados, hasta que se hayan centrado en un objetivo determinado (momento en el que han presionar un botón). Por lo general el tiempo de respuesta aumenta en función del espacio explorado (para revisión, véase Denis y Kosslyn, 1999). Este resultado podría explicarse si los sujetos *interpretan la tarea* en el sentido de que requiere que reproduzcan lo que ocurriría en la correspondiente situación perceptiva y, por tanto, emplean más tiempo cuando piensan que deben explorar distancias mayores. Los requerimientos de la tarea pueden eliminarse, pero esto requiere que el experimento sea ingenioso. Por ejemplo, se han obtenido resultados de exploración aun cuando no se hayan dado la instrucción de explorar, o incluso de utilizar, imágenes mentales (Finke y Pinker,1982, 1983)
3. Los métodos comportamentales son inevitablemente incompletos. No pueden proporcionarnos un cuadro completo de los procesos subyacentes, en parte debido a compensaciones entre estructura y proceso. Es posible que estos métodos sean más útiles cuando se emplean para someter a prueba una teoría específica que hace predicciones específicas sobre las medidas específicas que se están recogiendo.

## 4.3. Métodos neurales correlacionales: la importancia de la localización

La Psicología cognitiva ha llegado a ser extraordinariamente apasionante durante la última década debido a que los investigadores han desarrollado métodos relativamente baratos y de alta calidad para determinar cómo funciona el cerebro humano. Estos métodos son *correlacionales*: aunque revelan las pautas de actividad mental que se asocian con el procesamiento de la información, no muestran que la activación de áreas específicas del cerebro en verdad tenga por resultado la tarea que se está realizando. Correlación no implica necesariamente causalidad. Algunas de las áreas activadas del cerebro podrían sólo estar en el camino —activarse porque están conectadas con otras áreas que juegan un papel funcional en el procesamiento—. Una de las principales utilidades de estos métodos es que permiten a los investigadores comenzar a *localizar* la actividad mental, a demostrar que zonas concretas del cerebro o bien dan lugar a representaciones específicas o desempeñan procesos específicos.

Tales datos pueden establecer tanto asociaciones como disociaciones, permitiendo así conocer la naturaleza de las representaciones y procesos que se emplean durante la actividad mental. Por otra parte, si dos tareas activan diferentes áreas del cerebro (una disociación), esto es prueba de que se han llevado a cabo, al menos en parte, mediante representaciones o procesos distintos. Por ejemplo, las regiones del cerebro que se utilizan cuando se mantiene información verbal en la memoria operativa (llamada a veces «memoria a corto plazo») son diferentes de las que se usan cuando se recuerda información almacenada anteriormente. (Nyberg *et al*., 1996; Smith, 2000), lo que demuestra que la memoria operativa no es tan sólo una parte activada de la información almacenada previamente en la memoria. Por otro lado, si la misma área cerebral se activa en dos tareas (una asociación), esto es prueba de que al menos algunas de las mismas representaciones o procesos pueden utilizarse en las dos tareas. Por ejemplo, una vez demostrado que parte del lóbulo parietal está involucrado en la representación del espacio, Dehaene y colaboradores (1999) pudieron interpretar la activación de esta región cuando los sujetos de una prueba comparan la magnitud relativa de números. Dedujeron que las personas utilizan una «línea numérica mental» en esta tarea. Su interpretación fue luego apoyada por una serie de otra clase de pruebas. Sin embargo, este tipo de inferencias ha de hacerse con mucha precaución: lo que aparenta ser activación de la misma área en dos tareas diferentes puede ser, en realidad, activación de dos áreas distintas, colindantes; pero la técnica es demasiado imprecisa para registrar la diferencia. Como de costumbre, se ha de ser muy precavido al sostener la hipótesis nula; esto es, defender que no *encontrar* una diferencia significa que en realidad no hay diferencia.

Los diversos métodos neurales correlacionales se pueden valorar respecto a cuatro dimensiones: (1) *resolución espacial*: con cuánta precisión localizan el área del cerebro que produce una señal; (2) *resolución temporal*: con cuánta precisión revelan los cambios de la actividad cerebral a lo largo del tiempo; (3) *nocividad*: grado en el que requieren introducir sustancias extrañas en el cerebro; y (4) *coste*: tanto del equipo (y de cualquier instalación especial) como de su aplicación a cada sujeto experimental de la prueba. Los tres métodos de obtención de neuroimagen más importantes actualmente para la Psicología cognitiva son los potenciales provocados (PP)[11], la tomografía

[11] Frecuentemente llamados «potenciales evocados». *(N. del T.)*

**TABLA 1-2** Métodos de neuroimagen correlacionales

| Método | Ejemplo | Resolución espacial | Resolución temporal | Nocividad | Coste (Inicial; Uso) |
|---|---|---|---|---|---|
| Eléctricos (electroencefalografía, [EEG]; potenciales provocados [PP]) | Seguir la secuencia de las fases del sueño (EEG), registrar la respuesta del cerebro a los estímulos novedosos (PP) | Mala (unos 2,5 cm) | Excelente (milisegundos) | Baja | Coste de adquisición bajo; coste de uso bajo |
| Magnetoencefalografía (MEG) | Detectar la actividad provocada en la corteza auditiva por sonidos de diferentes tonos | Buena (menos de 1 cm) pero tan sólo en los surcos, no en las circunvoluciones (debido al modo en que se alinean las dendritas) | Excelente (milisegundos) | Baja | Coste de adquisición alto (y requiere sala con pantalla magnética); coste de uso medio (requiere mantenimiento para mantener los superconductores extremadamente fríos) |
| Tomografía por emisión de positrones (TEP) | Detectar la actividad en las áreas del lenguaje cuando los sujetos hablan | Buena (aproximadamente 1 cm, pero mayor en teoría) | Mala (una imagen cada 40 segundos) | Alta (se necesita administrar radiación) | Coste de adquisición alto (se necesita un ciclotrón además de la cámara TEP); coste de uso elevado (unos 2.000 dólares por sujeto) |
| Resonancia magnética nuclear (RMN) y resonancia magnética funcional (RMf) | Muestra la estructura del cerebro (RMN), muestra la actividad en las áreas cerebrales, al igual que la TEP (RMf) | Muy buena (margen de milímetros); la de la RMf suele ser de unos 0,5 cm | Depende del nivel de resolución, por lo general varios segundos | Baja | Coste de adquisición alto (requiere sala con pantalla magnética); coste de uso medio (precisa mantenimiento) |
| Ecografía óptica | Muestra la actividad en las áreas cerebrales, al igual que la TEP | Mala en la actualidad (unos 2 cm) | Depende del nivel de resolución, por lo general, varios minutos | Media/baja (la luz se irradia a través del cráneo) | Coste de adquisición bajo; coste de uso bajo |

por emisión de positrones (TEP) y la resonancia magnética funcional (RMf), por lo que merece la pena considerarlos brevemente con más detalle. En la Tabla 1-2 se resumen estos métodos.

Los métodos correlacionales más antiguos registran la actividad cerebral sobre el cuero cabelludo. La *electroencefalografía* (EEG) utiliza electrodos situados sobre el cuero cabelludo para registrar las oscilaciones de la actividad eléctrica a lo largo del tiempo. Estas «ondas cerebrales» se analizan para averiguar cuanta actividad existe en diferentes «bandas», las cuales son conjuntos de frecuencias. Por ejemplo, el «ritmo a» tiene una frecuencia que oscila entre 8 y 12 Hz (esto es, de 8 a 12 ciclos por segundo) y la amplitud de las ondas en este intervalo aumenta cuando el sujeto se relaja. El registro de los *potenciales provocados* también se basa en electrodos situados sobre el cuero cabelludo, pero éstos se usan para observar las oscilaciones de la actividad en respuesta a estímulos específicos. Los investigadores observan los cambios, positivos o negativos, que ocurren en la actividad eléctrica en determinados lapsos de tiempo después de que se haya presentado el estímulo. Por ejemplo, la onda «P 300» es una oscilación positiva que ocurre unos 300 milisegundos después de la aparición de un estímulo; se piensa que esta fluctuación refleja la detección de un estímulo nuevo. Estos métodos tienen diversos inconvenientes:

1. Tanto el EEG como los PP se alteran cuando se dan pequeños movimientos, dado que los músculos producen actividad eléctrica cuando se contraen.
2. Ambas técnicas tienen una resolución espacial relativamente baja, en parte porque las ondas eléctricas se propagan por la superficie del cerebro y del cuero



**FIGURA 1-9** Registros del encéfalo

(a) Equipo de EEG, que registra la actividad eléctrica cerebral.
(Fotografía de *Deep Light Production*. Cortesía de *Photo Researchers, Inc.*)

cabelludo, y en parte porque la actividad eléctrica registrada en cualquier punto del cuero cabelludo es una actividad mixta que se ha originado en diversas partes del encéfalo. Es como si se estuviera midiendo la cantidad de agua que cae en un vaso de papel durante una tormenta y tratando de imaginar cuanta agua puede contener la nube que se encuentra justo encima. El agua que se recoge procede de múltiples partes de la nube (el viento influye en dónde caen las gotas) así como de diversas altitudes. Los investigadores están trabajando en técnicas que emplean registros con electrodos en múltiples puntos para intentar centrarse en el origen de la actividad eléctrica, pero estas técnicas están aún en vías de desarrollo. En el momento actual, la resolución espacial de las técnicas eléctricas probablemente sea de unos 2,54 centímetros, pero esto es una estimación aproximada. Pese a su baja resolución espacial, estas técnicas tienen varias ventajas: su resolución temporal es excelente, no son lesivas y tanto la compra como el uso del equipo son relativamente baratos.

Una variante relativamente reciente de los PP, la *magnetoencefalografía* (MEG), registra campos magnéticos en lugar de eléctricos (Figura1-9). A diferencia de los campos eléctricos, los campos magnéticos no se distorsionan al atravesar el hueso y no se propagan por la superficie del cerebro ni del cuero cabelludo. La MEG tiene una resolución espacial relativamente buena (posiblemente menor de un centímetro), pero debido al modo en que las dendritas están dispuestas en la corteza, detecta ante todo la actividad en los surcos, no en las circunvoluciones. Tiene una magnífica resolución temporal (detectando oscilaciones de unos pocos milisegundos) y no es lesiva. Sin embargo, la MEG resulta cara; el aparato ha de instalarse en una sala con pantallas magnéticas y los detectores han de revisarse con regularidad. (Necesitan estar extremadamente fríos para que los superconductores puedan detectar los débiles campos magnéticos del cerebro.)

La TEP aporta un tipo de información diferente a la que se puede obtener con los PP y por lo tanto es muy útil como técnica complementaria (Figura 1-10a). La aplicación de TEP que se usa más frecuentemente en Psicología cognitiva se vale de un isótopo radioactivo del oxígeno, el $O_{15}$. Se le inyecta agua, parte de cuyo oxígeno es este isótopo, a un sujeto que está realizando una tarea. Cuando una parte del cerebro se activa, demanda más sangre (al igual que una lavadora demanda más agua a la cañería cuando se la pone en marcha). Cuanta más sangre fluye a un área, más radioactividad vinculada al agua va con ella. Con detectores situados alrededor de la cabeza se registra la cantidad de radioactividad y esta información se reconstruye luego mediante ordenadores para reconstruir una imagen tridimensional. Esta técnica puede detectar actividad en estructuras menores de un centímetro (en teoría, tan pequeñas como dos milímetros, pero en la práctica posiblemente unas tres veces mayor). Entre sus inconvenientes figuran los siguientes:

1. Aunque los niveles de radiación son muy bajos (diez exploraciones suministran aproximadamente la misma cantidad de radiación que recibe un piloto de avión en un año y medio), la técnica sigue siendo lesiva.
2. La resolución temporal es relativamente baja: se tarda unos 40 segundos en obtener una imagen.
3. La TEP es cara, se necesitan un material radioactivo que se prepara justo antes de su uso (ya que la radiación decae rápidamente) y aparatos especiales para realizar la exploración.

Recientemente, otra técnica ha venido a reemplazar a la TEP en gran parte de las investigaciones. Esta técnica se desarrolló a partir de imágenes por resonancia magnética (RM). Así pues, examinemos primero la RM y después los métodos más recientes de resonancia magnética funcional que evalúan la actividad cerebral. El norteamericano Paul C. Lauterbur y el inglés Peter Mansfield ganaron en 2003 el premio Nobel en Fisiología o Medicina por su papel en la puesta a punto de la RM. Sus descubrimientos no sólo cambiaron para siempre el talante de la medicina, sino que mejoraron espectacularmente nuestra capacidad para entender el cerebro. Inicialmente la RM se empleó para investigar la estructura del cerebro, no su función. Por ejemplo, esta técnica ha puesto de manifiesto que los músicos que utilizan instrumentos de cuerda (como el violín) tienen más desarrollada el área M1 del hemisferio derecho (el cual controla la mano izquierda) que el resto de los miembros de la orquesta (Münte *et al.*, 2002). La RM utiliza campos magnéticos para alterar la orientación de determinados átomos en una sustancia. Se aplica un fuerte campo magnético de referencia, lo que hace que todos los átomos se alineen con él (los átomos tienen polos norte y sur y se orientan consecuentemente con un campo magnético mayor. Posteriormente se utiliza un pulso rápido de ondas de radio para distorsionar la orientación previa de los átomos. Estos, cuando retornan a su posición original, generan una señal que puede detectarse. (Dicho pulso se crea mediante campos magnéticos de tal potencia que se flexionan cuando se activan y desplazan el aire, lo que crea un sonido, al igual que un altavoz desplaza aire para crear sonido. Pero en el caso de la RM el sonido es un fuerte golpeteo.) La RM registra una señal a medida que los átomos vuelven a su alineamiento original; la corriente registrada se amplía y se utiliza para crear una imagen. La sustancia gris y la sustancia blanca pueden identificarse por el modo en que sus átomos vibran ante diferentes radiofrecuencias. La RM tiene una resolución espacial extraordinariamente buena (en principio, menor de un milímetro), buena resolución temporal (se puede crear una imagen en pocos segundos) y no es lesiva. Pero los aparatos son muy caros y se precisa una instalación especial (Figura 1-10b).

La resonancia magnética funcional se basa en los mismos principios que la RM estructural. Sin embargo, en vez de cartografiar la estructura del cerebro, la RMf marca la actividad que sucede en diferentes regiones del cerebro. La técnica más usual de RMf se denomina BOLD (siglas en inglés de *blood oxigenation level dependent*[12]). Los glóbulos rojos contienen hierro (en la hemoglobina), que puede estar ligado al oxígeno o perderlo al utilizarse en el metabolismo. Cuando un área cerebral comienza a funcionar recibe más glóbulos rojos oxigenados de lo que realmente necesita y por tanto los glóbulos rojos oxigenados se acumulan. El hierro con oxígeno y el hierro sin oxígeno afectan de modo diferente a los átomos de hidrógeno cercanos en el agua (el principal componente de la sangre). Y ésta es la clave: la secuencia de pulsos magnéticos está diseñada para indicar dónde se han acumulado glóbulos rojos oxigenados, lo cual es una medida indirecta de la actividad en ese área cerebral. La RMf tiene aproximadamente la misma resolución espacial que la RM estructural (al menos un milímetro) y no es lesiva. No obstante, esta técnica tiene inconvenientes, entre ellos los siguientes:

1. La RMf puede detectar cambios que ocurren en el transcurso de unos seis segundos, lo que es mucho menos preciso que en el caso de los PP o la MEG.

[12] Dependiente del nivel de oxigenación de la sangre. *(N. del T.)*



(a)



(b)

**FIGURA 1-10** Métodos de neuroimagen

La TEP y la RMf son probablemente los métodos de neuroimagen que se utilizan más frecuentemente hoy en día.
(Fotografía de Spencer Grant. Cortesía de *PhotoEdit Inc.*)
(b) Equipo de RM.
(Fotografía de Geoff. Tompkinson. Cortesía de *Photo Researchers Inc.*)

2. Los aparatos (y la sala con pantallas especiales que se necesita) son caros.
3. Los aparatos son muy ruidosos (lo que puede hacer que los sujetos se sientan incómodos y por ello dificulte ciertos estudios).
4. La camilla en la que se acuesta el sujeto es muy angosta, lo que mucha gente encuentra agobiante.

Por último, merece la pena mencionar un miembro muy reciente de la panoplia de herramientas de obtención de neuroimágenes, que promete hacerse cada vez más popular en el futuro. La *ecografía óptica* se beneficia de dos hechos referentes a la luz: en primer lugar, el cráneo es transparente a la luz de rayos próximos a los infrarrojos; en segundo lugar algunas frecuencias de ese tipo de luz son absorbidas en mayor cantidad por la hemoglobina oxigenada que por la que ha perdido su oxígeno (Obrig y Villringer, 2003). El método de la *tomografía óptica difusa* (TOD) sitúa un conjunto de rayos láser muy débiles en diferentes puntos del cráneo y hace incidir la luz en la corteza; la luz reflejada se mide con detectores situados sobre el cuero cabelludo. Cada láser parpadea con un ritmo diferente y así se puede calcular dónde se ha originado la luz reflejada. Esta técnica permite a los investigadores marcar el recorrido del flujo sanguíneo en la corteza. La construcción de los aparatos es relativamente barata y el coste de su utilización prácticamente nulo. Aunque en cierto sentido es una técnica lesiva, es muy segura: el nivel de la luz que llega a la corteza es menor del que una cabeza calva al descubierto recibe en el exterior en un día soleado (se ha aprobado esta técnica para utilizarse con niños muy pequeños). Los principales inconvenientes son los siguientes:

1. La luz penetra tan sólo dos o tres centímetros antes de hacerse tan difusa que no puede registrarse con precisión y, por lo tanto, no pueden evaluarse las áreas subcorticales y sólo se puede llegar a un 80 por ciento de la corteza.
2. Esta técnica tiene aproximadamente la misma resolución temporal que la RMf BOLD y la resolución espacial depende de la cantidad y la localización de los láser y detectores.

En general, las técnicas de neuroimagen adolecen de una serie de limitaciones, por lo que se debe ser precavido al interpretar sus resultados:

- Primero, no se puede establecer la diferencia entre resultados causados por una actividad excitadora o una inhibidora.
- Segundo, mayor grado de activación no significa necesariamente mayor grado de procesamiento. Un campeón de atletismo puede recorrer una milla más deprisa que una persona sedentaria y consumir menos energía en el proceso; de modo similar, un experto en determinados procesos podrá llevarlos a cabo con menos procesamiento cerebral.
- Tercero, la misma área funcional puede hallarse en regiones anatómicas ligeramente diferentes en distintos cerebros, lo que difículta obtener un promedio de los sujetos.
- Cuarto, el cerebro está siempre «conectado», incluso durante el sueño. Así pues, los investigadores siempre han de comparar dos situaciones y observar cómo cambia la activación de una a otra. El problema es que no se sabe exactamente qué procesamiento tiene lugar durante una situación de «prueba» o una situación «previa al estudio» para compararlo, y por lo tanto la diferencia entre las dos situaciones puede ser difícil de interpretar.

- Quinto, si no se encuentran diferencias de activación en un área cerebral en dos tareas, esto puede significar que el proceso estaba activo en ambas tareas, no activo en ninguna de ellas, o bien que la diferencia era demasiado sutil para detectarse. Esta última posibilidad es particularmente preocupante porque los vasos sanguíneos sólo pueden dilatarse hasta cierto punto y por tanto el aumento del flujo sanguíneo con la actividad neuronal puede no ser lineal ¿no pueden aumentar en la misma cantidad con cada aumento adicional de procesamiento? Si un área está relativamente activa en dos situaciones, la diferencia de flujo sanguíneo entre ellas puede no reflejar la diferencia en el grado de procesamiento.
- Por último, no es necesario que los procesos se efectúen en tejidos neurales distintos. Por ejemplo, el área 17 contiene neuronas que procesan el color y estas neuronas están intercaladas con las que procesan la forma (Livingstone y Hubel, 1984). Si se calcula el promedio en aproximadamente un centímetro de tejido (la resolución utilizada en la mayoría de los estudios con TEP y RMf), no se puede distinguir entre estos dos tipos de neuronas. En pocas palabras, ¡la «evidencia convergente» debe ser nuestra consigna!

## 4.4. Métodos neurales causales

Los investigadores han dependido de otro tipo de estudios para establecer conexiones causales entre la activación cerebral y el rendimiento. Estos métodos, resumidos en la Tabla 1-3, demuestran que la actividad de un área concreta del cerebro da lugar a representaciones específicas o lleva a cabo procesos específicos.

Si una parte del cerebro juega un papel clave en la ejecución de una tarea específica, entonces un paciente debería tener dificultades para realizar esa tarea cuando dicha parte del cerebro se ha lesionado. Siguiendo este razonamiento, los investigadores han intentado basarse en las deficiencias en la ejecución de una tarea determinada (como lectura, escritura o cálculo aritmético) tras sufrir un daño cerebral, para deducir el papel causal que desempeñan regiones específicas del cerebro. Las personas sufren daño cerebral principalmente por uno de los siguientes cinco motivos:

- Han tenido un accidente cerebrovascular, lo que ocurre cuando se interrumpe el aporte sanguíneo al cerebro —con su oxígeno y nutrientes vitales—. Cuando esto sucede, las neuronas de una zona del cerebro pueden morir.
- En la intervención quirúrgica para extirpar un tumor se puede haber extirpado también una zona específica del cerebro.
- Han sufrido diversos tipos de traumatismo craneal que pueden dañar el cerebro (¡Use el cinturón de seguridad en el coche!, ¡en la bicicleta, un casco!)
- Padecen una enfermedad que afecta al cerebro. La enfermedad de Alzheimer, por ejemplo, inicialmente deteriora de forma selectiva zonas del cerebro implicadas en la memoria.
- Han ingerido toxinas que dañan el cerebro. Beber demasiado alcohol durante demasiado tiempo, por ejemplo, puede llevar a malos hábitos de alimentación, lo que a su vez daña determinadas zonas del cerebro involucradas en la memoria. (El problema no es el alcohol en sí mismo, sino más bien cómo beber demasiado afecta a la nutrición.)

Los investigadores han estudiado a pacientes con daño cerebral para descubrir qué capacidades cognitivas están alteradas y cuáles se mantienen intactas. Su objetivo es

**TABLA 1-3** Métodos neurales causales utilizados en Psicología cognitiva

| Método | Ejemplo | Ventajas | Limitaciones |
|---|---|---|---|
| Estudios neuropsicológicos (de pacientes con daño cerebral localizado o difuso) | Examinar dificultades en la comprensión de sustantivos pero no de verbos | Comprueba las teorías del papel causal de áreas cerebrales específicas; comprueba las teorías de que en diferentes tareas se utiliza un procesamiento paralelo y un procesamiento por separado; recogida de datos relativamente fácil y económica | A menudo el daño no se limita a un área; los pacientes pueden sufrir varias alteraciones |
| Estimulación magnética transcraneal (EMT) | Afecta temporalmente al lóbulo occipital y demuestra que esto tiene el mismo efecto sobre la percepción visual que sobre las imágenes mentales visuales | Las mismas que los estudios neuropsicológicos, pero la «lesión» transitoria está más circunscrita y puede examinarse a los sujetos antes y después de la EMT | Sólo se puede utilizar en áreas cerebrales cercanas a la superficie (la EMT sólo afecta al tejido que está unos 2,5 cm por debajo) |
| Sustancias (drogas y fármacos) que afectan a sistemas cerebrales específicos | Alteran la acción de la noradrenalina, que es decisiva para el funcionamiento del hipocampo | Puede alterar el procesamiento en determinados sistemas cerebrales; por lo general es reversible; puede probarse con antelación en animales | Muchas sustancias afectan a varios sistemas cerebrales diferentes; la resolución temporal puede ser muy baja |

comprobar asociaciones y disociaciones (Caramazza, 1984, 1986; Shallice, 1988). En estos estudios se dice que ocurre una disociación cuando una capacidad se deteriora mientras que otras quedan preservadas, y que ocurre una asociación cuando el rendimiento en dos tareas se altera siempre a la vez (lo que sugiere que las dos tareas se basan, al menos, en una representación o proceso subyacente común). No obstante, las asociaciones pueden ocurrir también porque áreas del cerebro colindantes se lesionan conjuntamente (o porque hay neuronas con diferentes funciones en una misma área).

En general, puede ser difícil relacionar cambios en el rendimiento tras daño cerebral con el funcionamiento normal de las áreas dañadas. ¿Por qué?

1. El daño cerebral suele afectar a una extensa área de tejido neural y afecta asimismo a las conexiones entre áreas cerebrales.
2. Este daño no deja el resto del cerebro como estaba antes de la lesión sino que el cerebro lo compensa de varias formas. Gregory (1961) da un útil ejemplo: si se quita una resistencia de una radio y ésta comienza a chirriar, esto no significa que la resistencia fuera un supresor de chirridos. Eliminar una parte modifica el modo en que funciona el sistema entero.

Sin embargo, si se tiene una teoría de lo que hace un área cerebral específica, la lesión de dicha área sirve para examinar su función: si un área desempeña un papel causal en un tipo concreto de rendimiento, entonces el daño de esa zona del cerebro tendría que alterar el rendimiento en dicha tarea (Fellows *et al.*, 2005).
Una nueva técnica salva muchas de las dificultades que se encuentran cuando se estudian personas con daño cerebral. La estimulación magnética trascraneal (EMT) altera temporalmente la actividad cerebral normal en un área relativamente pequeña, quizá un centímetro cúbico (Walsh y Pascual-Leone, 2003). La EMT implica colocar una bobina sobre el cráneo del sujeto y hacer pasar brevemente una intensa descarga eléctrica a su través (Figura 1-11). La corriente produce un campo magnético, lo que a su vez altera temporalmente la actividad neuronal de las áreas cerebrales que están debajo de la bobina. Hay dos variantes principales de esta técnica. En la versión de un único pulso, se suministra un pulso durante una determinada cantidad de tiempo después de haber presentado un estímulo. Este método puede usarse para descubrir la duración de procesos determinados, así como su papel causal en una tarea específica. En la otra versión, conocida como EMT reiterativa (EMTr), se aplican una serie de pulsos magnéticos a un área del cerebro antes de realizar una tarea. Si se envían pulsos suficientes, con el tiempo las neuronas se hacen menos sensibles y continúan respondiendo más lentamente durante algún tiempo. En consecuencia, los investigadores pueden aplicar EMTr a una parte concreta de la corteza y observar luego el rendimiento en tareas específicas. En cierto modo, esta técnica induce una lesión temporal pero no altera las conexiones. Por ejemplo, si se aplica EMT al área de Broca, se producen dificultades en el habla inmediatamente después. No siempre está claro, sin embargo, cuáles son exactamente las áreas afectadas por las descargas; ni tampoco si al afectar a un área se afecta también otra con la cual está conectada. Este método tiene limitaciones:

1. Los efectos de la estimulación de un área pueden transmitirse a otras áreas, lo que puede dificultar deducir qué área es de hecho responsable de los efectos observados.
2. Si no se utiliza conforme a las directrices de seguridad, la EMT puede producir convulsiones.
3. La técnica afecta sólo a la corteza y sólo a aquellas partes que están justo debajo del cráneo.
4. Los músculos laterales de la frente se contraen cuando la EMT se aplica en dicha área, lo cual puede resultar desagradable.

Por último, otro método entraña administrar sustancias químicas que afectan el funcionamiento de sistemas cerebrales específicos. Esta técnica aporta otro modo de demostrar que determinados sistemas cerebrales juegan un papel causal en deter-



**FIGURA 1-11** Investigación mediante estimulación magnética transcraneal

Una prueba de EMT, como la que aquí se muestra, se puede realizar fácilmente en el laboratorio; ésta puede alterar temporalmente procesos cognitivos muy específicos.
(Cortesía de Julian Paul Keenan, PhD.)

minados tipos de funciones. Por ejemplo, Cahill y colaboradores (1994) mostraron a sujetos ilustraciones en las que se representaban o bien sucesos neutros (como pasear cerca de un vertedero) o bien sucesos aversivos (como estar presente en un accidente horrible). Una hora después de haber visto las ilustraciones se les dio a los sujetos uno de dos comprimidos: la mitad de los sujetos tomaron una sustancia que interfiere con la noradrenalina, neurotransmisor crucial para la función del hipocampo; esta sustancia alteró por tanto el funcionamiento de dicha estructura cerebral, la cual es decisiva para que ingrese nueva información en la memoria. A la otra mitad de los sujetos se les dio placebo, una sustancia médicamente inerte. (Los sujetos no sabían si habían recibido un medicamento o placebo.) Una semana más tarde se examinó a los sujetos —sin que se les hubiera advertido previamente que esta prueba formaba parte del protocolo— sobre su recuerdo de las ilustraciones. El grupo que había recibido placebo recordó más dibujos de sucesos emocionales que dibujos de sucesos neutros. ¿Por qué? Quizá la respuesta sea que el grupo al que se le administró la sustancia que bloquea la noradrenalina no mostró la habitual primacía de memoria para los sucesos emocionales, lo cual es una prueba de que el hipocampo (junto con la amígdala) interviene en el fortalecimiento del recuerdo de información con significado emocional. No obstante, este método también tiene limitaciones:

1. Con frecuencia las sustancias químicas (fármacos y drogas) afectan a muchos sistemas cerebrales diferentes.
2. Las sustancias químicas pueden tardar bastante tiempo en actuar y sus efectos pueden persistir durante bastante tiempo.

En general, los métodos causales son más eficaces cuando se usan junto con técnicas de neuroimagen, lo que puede demostrar que ciertas áreas están activas durante una tarea. Dichas áreas pueden entonces examinarse específicamente (en pacientes

con daño cerebral o mediante EMT o drogas específicas). Los adelantos en localizar la activación en sujetos que participan en estudios están permitiendo a los investigadores utilizar la EMT cada vez más con mayor precisión; es probable que esta técnica desempeñe un papel cada vez mayor en la investigación.

## 4.5. Plantear modelos

La actividad mental puede estudiarse también mediante la construcción de modelos. Los modelos no sólo pueden decirnos si un conjunto de principios o mecanismos pueden realmente explicar datos, sino también si pueden hacer nuevas predicciones. ¿Cuál es la diferencia entre una teoría y un modelo? Una teoría propone un conjunto de principios abstractos que pueden explicar una serie de fenómenos; un modelo es una versión concreta y específica de una teoría. Los modelos tienen tres tipos de características (Hesse, 1963):

1. Los que son de interés para una teoría, como puede ser el perfil de las alas de un modelo de aeroplano o el orden en el que se llevan a cabo los procesos en un programa de ordenador;
2. Los que claramente no son de interés para una teoría, como puede ser el color del modelo de aeroplano o el tiempo real que un programa de ordenador precisa para llevar a cabo un proceso;
3. Los que no pertenecen claramente a ninguna de las dos categorías anteriores, como la forma de la panza del modelo de aeroplano o el papel de la unidad de procesamiento central (CPU) en la ejecución de las rutinas en un modelo de ordenador. Algunas veces la investigación se centra en la tercera categoría, en un intento de asignar estas características a una de las dos primeras categorías.

En Psicología, los modelos a menudo se implementan como programas de ordenador. Tales **modelos de simulación computarizada** están diseñados para reproducir las representaciones mentales y los procesos subyacentes que dan lugar a tipos específicos de funciones humanas. Las simulaciones por ordenador deben distinguirse de los programas de inteligencia artificial, con la que se pretende producir una conducta «inteligente» pero que puede incorporar procesos subyacentes muy diferentes a los utilizados por el ser humano. Además, hay que reparar en que los modelos de la actividad mental no siempre se implementan en programas de ordenador: pueden plasmarse asimismo como un conjunto de ecuaciones o formularse sencillamente de forma verbal o mediante diagramas.

En sus comienzos, la Psicología cognitiva se basaba principalmente en **modelos de procesos**, los cuales especificaban una secuencia de procesos que convierten un *input* en un *output*. Dichos modelos se pueden ilustrar con un organigrama y en ocasiones se designan modelos de «caja y flecha». La Figura 1-12 presenta un ejemplo de un modelo para explicar cómo las personas deciden si un estímulo estaba en una lista que acaban de leer. (Antes se analizó esta tarea al explicar las compensaciones entre estructura y proceso.) La mayor parte de estos modelos especifican cada proceso en términos de su entrada y salida de información, pero el funcionamiento interno de cada proceso no se especifica en detalle ¿permanecen en una metafórica «caja negra»? Los modelos de proceso se usan frecuentemente para

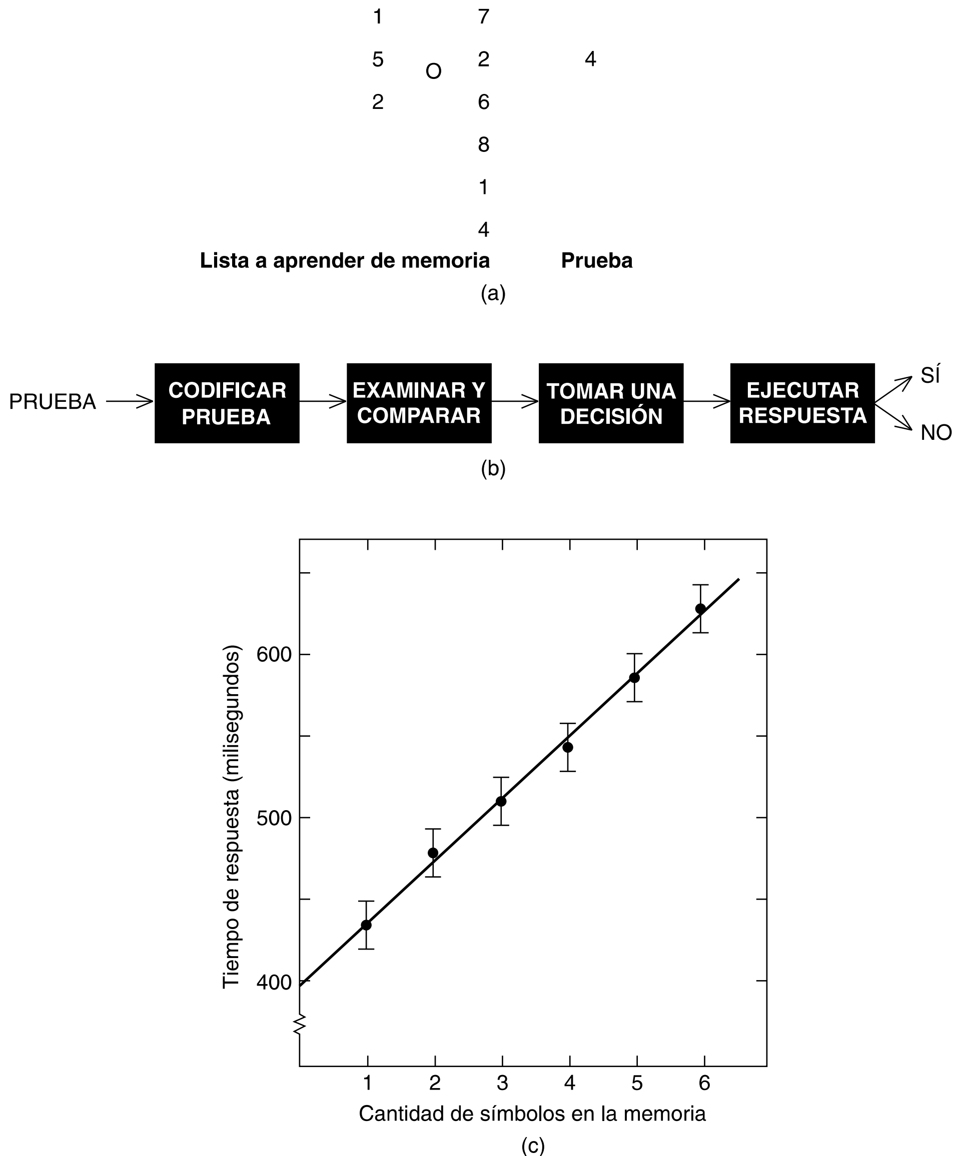



**FIGURA 1-12** Modelo del proceso de Sternberg

(a) La primera tarea es aprender de memoria una corta lista de elementos -en este caso, números-. Luego se presenta un elemento de prueba, por ejemplo el «4», que puede haber estado o no en la lista. La tarea es decir si lo estaba. (b) El elemento de prueba se codifica y así ingresa en la memoria. Se examina la lista almacenada en la memoria y el elemento de prueba se compara con cada uno de los elementos de la lista; si la lista se examina elemento a elemento, entonces, cuanto más larga sea la lista más tiempo se necesitará para examinarla. A continuación se toma una decisión sobre cómo responder. Finalmente, se ejecuta la respuesta propiamente dicha, lo que lleva al sujeto a presionar la tecla SÍ o la NO. (c) La predicción se confirma: se requiere más tiempo para examinar listas más largas.

explicar y predecir el tiempo de respuesta basándose en la cantidad relativa de operaciones que el modelo realizaría para llevar a cabo una tarea. Además, dado que tales modelos especifican distintos procesos, se utilizan también para explicar y predecir

patrones de alteraciones tras daño cerebral (Caramazza, 1984, 1986). La idea central aquí es que ciertos procesos pueden resultar afectados selectivamente por el daño. Pero también los modelos de proceso tienen limitaciones en tanto que instrumentos de investigación:

1. Por lo general, asumen un procesamiento en serie, una secuencia paso a paso, y rara vez plantean un modelo de procesamiento en paralelo, en el cual los procesos ocurren de manera simultánea.
2. La *retroalimentación*, el efecto por el que un proceso influye en otro precedente en la secuencia, generalmente ocurre sólo después de que los procesos que llevan a él se hayan completado. El cerebro no opera así; las últimas áreas de una red neural envían *output* a las primeras mucho antes de que el procesamiento inicial se complete.
3. Por regla general, los modelos no aprenden y está claro que el aprendizaje modela la actividad mental desde las edades más tempranas.

## 4.6. Modelos de redes neurales

Los modelos de redes neurales, también llamados modelos conexionistas, se crearon en parte como respuesta a los puntos débiles de los modelos del proceso. Como su nombre indica, estos modelos tienen en cuenta las características clave del funcionamiento cerebral (Plaut *et al*., 1996; Rumelhart *et al*., 1986; Vogels *et al.,* 2005). Los **modelos de redes neurales** se basan en conjuntos de unidades interconectadas; se pretende que cada una de ellas corresponda a una neurona o un pequeño grupo de neuronas. Las unidades no son lo mismo que las neuronas, sino que más bien detallan los procesos de entrada y salida de información que realizan una neurona o grupo de neuronas. Los modelos más sencillos incluyen tres capas de unidades, como se ilustra en la Figura 1-13. La *capa de entrada* (*input*) es un conjunto de unidades que recibe estimulación del medio ambiente. Las unidades de la capa de *input* están conectadas a unidades de una *capa oculta*, así llamada porque estas unidades no tienen contacto directo con el medio externo. Las unidades de la capa oculta están a su vez conectadas con las de la *capa de salida* (*output*). En los modelos más sencillos, cada unidad puede estar conectada (on) o desconectada (off), lo que se designa como 1 o 0. Lo fundamental de estas redes son sus conexiones (de ahí que alternativamente se denominen «conexionistas»). Cada conexión procedente de una unidad de *input* o bien excita o bien inhibe una unidad oculta. Además, cada conexión tiene un *peso*, una medida de la fuerza de su influencia en la unidad receptora. Algunas redes incluyen bucles de retroalimentación, por ejemplo, con conexiones desde las unidades ocultas a las unidades de *input*. Éste es un punto crucial: la configuración de pesos en la red total sirve para representar asociaciones entre el *input* y el *output*. Las redes neurales no sólo utilizan un procesamiento paralelo, se basan en un procesamiento paralelo *distribuido*, en el cual una representación es una configuración de pesos, no un solo peso, nodo o conexión.

Las redes neurales tienen varias propiedades interesantes. Una de ellas es que aprenden. Por lo general, los pesos se establecen inicialmente de forma aleatoria y se

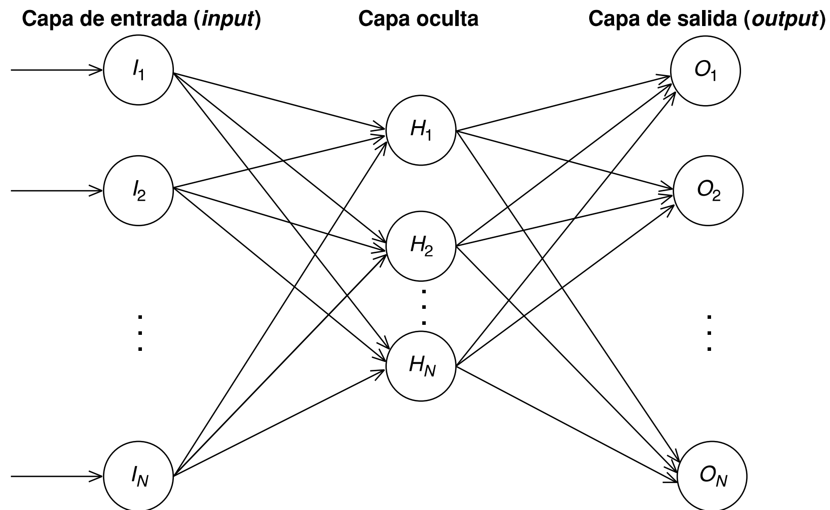



**FIGURA 1-13** Una red neural simple de propagación hacia delante

Se representan tres señales de entrada (*input*); puede haber muchas más entre la segunda ($E_2$) y la novena ($E_N$). En redes más complejas puede haber no sólo bucles de retroalimentación sino que las conexiones entre unidades pueden estar organizadas de un modo específico.
(Reimpreso con permiso de *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*, Australia.)

recurre a varias técnicas de entrenamiento para hacer posible que la red establezca de forma automática los pesos de modo que el *input* produzca el *output* apropiado. Otra propiedad es que generalizan: cuando a una red neural se le suministra un conjunto de *inputs* que es similar, pero no idéntico, a uno en el cual se ha entrenado a la red, ésta puede seguir respondiendo apropiadamente. Más aún, cuando se dañan, se degradan gradualmente. Por lo contrario, en un programa de ordenador estándar si tan solo un comando es erróneo todo el programa se colapsa. En una red neural pueden suprimirse unidades o conexiones y —hasta cierto punto— la red seguirá funcionando, aunque no tan bien. Y a veces funcionará correctamente en cierto sentido pero no en otro. Esto es algo parecido a lo que ocurre en el cerebro.

Por último, las redes neurales son útiles porque ayudan a entender la diferencia entre un código neural y una representación mental. El código neural consta de un nivel específico de actividad para cada neurona (o, en estos modelos, para cada nodo) y una fuerza específica para cada una de las conexiones entre neuronas (o, en los modelos, entre nodos). Pero saber sólo el estado de cada nodo y conexión individual no nos dirá cómo y por qué determinados *inputs* producen determinados *outputs*; se necesita considerar el sistema como un todo para entender cómo representa y procesa la información. Los códigos neurales son como los ladrillos de un edificio y las representaciones mentales son como los rasgos arquitectónicos que resultan de colocar los ladrillos de una manera determinada.

Hemos considerado los métodos básicos, pero los investigadores han ampliado y desarrollado ingeniosamente estos métodos a medida que necesitaban resolver determinadas cuestiones. Así pues, en capítulos posteriores se estudiarán más métodos basados en los elementales que se acaban de revisar.



*Control de comprensión*



1. ¿Cuáles son los principales métodos que se utilizan para estudiar la actividad mental?
2. ¿Qué papel juegan los estudios del cerebro en el descubrimiento de datos sobre la actividad mental?

## 5 Panorámica del libro

Recuerde como comenzó este Capítulo; las preguntas siguen en pie: ¿cómo decidirá usted solicitar un trabajo determinado y como afrontará las entrevistas? A continuación, revisaremos la amplia serie de actividades mentales que necesitará para acceder a un trabajo y realizarlo eficazmente.

Probablemente usted leyó u oyó algo sobre una oportunidad de solicitar un trabajo; la percepción es un primer paso necesario para muchas actividades mentales que se relacionan con objetos y situaciones de nuestro entorno. El Capítulo 2 se centra en la percepción: el procesamiento perceptivo aporta la base de mucho de lo que viene después, sacando provecho de todo para la cognición.

Un resultado del procesamiento de la información que proviene de los sentidos es que el foco de atención cambia, lo que permite tener información adicional que interesa. Una vez comenzada su entrevista de trabajo, probablemente usted estuviera alerta ante incluso el menor signo de aumento de interés en la cara de su interlocutor. Y probablemente decidió ignorar cualquier queja de su estómago o la incomodidad de sus ropas. La atención, que se estudiará en el Capítulo 3, es la actividad por la cual se facilita el procesamiento de cierta información y se inhibe el de otra.

Sin embargo, gran parte de la actividad mental no se centra en los estímulos que se están percibiendo en el presente, sino que más bien se basa en representaciones almacenadas previamente de dichos estímulos. Cuando usted tuvo noticia del trabajo, interpretó esa información en términos de lo que ya sabía y lo que recordaba acerca de trabajos similares o de actividades relacionadas. El Capítulo 4 prosigue el tema en el punto dónde lo dejó el Capítulo 3 y se ocupa de cómo se representa la información en la memoria a largo plazo, el almacenamiento relativamente permanente de la información en el cerebro. No se almacena tan solo lo que se percibe en el momento presente, sino también la interpretación de dichos estímulos y la respuesta que se les da.

¿Cómo llega a almacenarse la información pertinente en la memoria a largo plazo? El Capítulo 5 trata de cómo se almacena nueva información en la memoria a largo plazo y cómo se recupera posteriormente. Si no se pudiera acceder a la información, a efectos prácticos ésta no existiría. La recuperación de la información es un componente crucial de prácticamente todas las formas de razonamiento, lenguaje y otras actividades mentales.

Una vez recuperada, la información suele almacenarse y utilizarse en la memoria operativa, cuyo contenido se supone que es consciente. Si usted ha tenido la experiencia de «dar vueltas en la cabeza» a los diversos pros y contras de aceptar un trabajo,

se estaba valiendo de la memoria operativa. El Capítulo 6 se dedica a la memoria operativa y trata el tema de cómo puede manejarse la información allí almacenada, permitiéndonos extraer conclusiones y resolver problemas.

¿Qué determina cómo se utiliza la memoria operativa? El Capítulo 7 se centra en los «procesos ejecutivos», que no sólo controlan el curso de la actividad en la memoria operativa sino que también dirigen, en términos generales, el flujo de la información. Pero este «CEO[13] de la mente» no es un pequeño jefe corporativo alojado dentro del cerebro. Antes bien, el cerebro tiene un sistema de procesos que opera sobre el *input* en un intento de procurar *outputs* que nos ayudarán a alcanzar nuestras metas. Las metas —¿de dónde vienen?—. Las reacciones emocionales son una de las fuentes de nuestras metas. Probablemente el lector haya tenido una reacción de agrado (o en ocasiones, de desagrado) ante actividades como las que se requieren para un trabajo determinado (por ejemplo, a usted le puede gustar escribir y descubrir qué es lo que está ocurriendo, lo que le hace suponer que trabajar en un periódico podría ser lo suyo). El Capítulo 8 aborda el modo más básico en que reaccionamos frente a objetos y acontecimientos, a saber: experimentando una emoción. Los seres humanos no somos ordenadores calculadores y fríos; tenemos reacciones emocionales ante la mayoría de los estímulos y estas reacciones emocionales afectan en gran medida a cómo procesamos la información posteriormente.

¿Cómo decidirá usted finalmente aceptar un determinado trabajo? ¿Por qué lo elegirá entre otras posibles alternativas? Parte de lo que los procesos ejecutivos deben hacer es organizar otros procesos que toman decisiones. El Capítulo 9 se centra en dichos mecanismos.

A menudo hay obstáculos que impiden la consecución inmediata de una meta. Quizá para optar a un determinado trabajo usted necesitaba haber cursado determinadas asignaturas cuando era estudiante ¿pero cursarlas entró en conflicto con alguna otra actividad, de modo que tuvo que cambiar sus planes? Su toma de decisión («Voy a seguir este curso») puede haberse basado hasta cierto punto en la resolución de un problema («¿Si hago este curso, cómo puedo convencer a mi compañero de habitación para cambiar nuestras sesiones semanales de estudio?»). El obstáculo plantea un problema a resolver. En el Capítulo 10 se revisa lo que los investigadores han aprendido acerca de la solución de problemas.

Después (o al mimo tiempo) de toda esta actividad mental, usted hizo algo. En el Capítulo 11 se examina como planificó y anticipó las consecuencias de actuar según un plan, como cuando pensó mientras estaba en la sala de espera cuál sería el mejor modo de relacionarse con el entrevistador. Y más allá de eso, se analiza cómo se aprenden nuevos modos de actuar, mediante imitación, y cómo se emplea el conocimiento de los movimientos para organizar lo que se ve y cómo se piensa.

Cuando usted tiene realmente una entrevista, por supuesto ha de escuchar y hablar, qué son las más complejas de todas las actividades mentales humanas. En el Capítulo 12 se revisan las teorías y datos fundamentales sobre el lenguaje, un fenómeno del que se valen prácticamente todos los demás aspectos de la cognición.
Empecemos.

[13] Siglas en inglés de «chief executive officer». *(N. del T.)*

## Repaso y reflexión

1. *¿Cómo surgió el campo de la Psicología cognitiva?*

   La Psicología cognitiva comenzó como ciencia en 1879, en el laboratorio de Wilhelm Wundt en Alemania. Sin embargo, la metodología inicial fue inadecuada (en parte debido a un énfasis excesivo en usar la introspección), lo que en última instancia condujo a los conductistas a rechazar todo estudio de la mente. Los conductistas se centraron exclusivamente en los fenómenos observables directamente, pero este enfoque resultó ser muy limitado. No ayudó a entender muchos fenómenos importantes, tales como el lenguaje y la percepción, y no pudo identificar los mecanismos que de hecho dan lugar a la conducta. La revolución cognitiva ocurrió cuando los ordenadores aportaron nuevos modos de concebir la actividad mental y nuevas tecnologías aportaron nuevos modos de comprobar teorías sobre la actividad mental. Estos avances permitieron a los científicos ir más allá de los estímulos, las respuestas y las consecuencias de las respuestas, y les llevo a comenzar a entender los mecanismos responsables no sólo de la conducta sino también de la percepción, el lenguaje y la cognición en general.

   **Piense críticamente**

   - ¿Qué conocimientos sobre la actividad mental le ayudarían más en esta materia?
   - ¿Le sería útil saber cómo mejorar su memoria?, ¿y su capacidad de tomar decisiones?
   - ¿Cómo afecta a lo que usted podría hacer con el conocimiento de la mente el hecho de integrar el estudio del cerebro con el estudio de la mente?
   - ¿De qué manera podría utilizar esta información para comprobar la eficacia de nuevos fármacos que supuestamente mejoran el procesamiento cognitivo?

2. *¿Qué es una teoría científica de la cognición y qué papel juega el conocimiento del cerebro en dichas teorías?*

   Las teorías de la cognición se han comparado frecuentemente con descripciones del *software,* en tanto que algo opuesto al *hardware* del ordenador mismo. Esto es una simplificación excesiva. Las teorías de la cognición se formulan en niveles de análisis específicos, a saber: en términos de cómo opera el cerebro para procesar la información. No se puede reemplazar una teoría de la cognición por una teoría de actividad neural, como tampoco se puede reemplazar la descripción de la arquitectura de un edificio por la de los ladrillos o paneles que lo componen.

   Un sistema de procesamiento puede concebirse en términos de sus representaciones y procesos; las representaciones sirven para almacenar información y los procesos interpretan o transforman la información almacenada. La Psicología cognitiva tradicional se basaba por entero en deducciones obtenidas de estudios de la conducta. Estos métodos no pudieron distinguir entre muchas teorías alternativas, en parte debido a las compensaciones entre estructura y proceso. Considerar los datos sobre el cerebro no sólo proporciona limitaciones adicionales, lo que facilita la formulación de teorías, sino que también proporciona razones adicionales para desarrollar teorías en una dirección específica. Por otra parte, al basar las teorías en el cerebro, un conjunto de métodos nuevos y eficaces resultan apropiados para evaluar dichas teorías.

**Piense críticamente**

- ¿Piensa el lector que alguna vez podrá programarse un ordenador para que tenga una «mente»? ¿Por qué sí o por qué no? Si su respuesta es no, ¿qué piensa que podría faltar?
- Imaginemos que pudiéramos programar un ordenador para reproducir nuestros procesos de pensamiento. ¿Podría utilizar el lector de algún modo un ordenador semejante?, ¿podría ser ese ordenador algo más que un contestador telefónico de lujo?
- ¿Se sentiría cómodo permitiendo a un programa de ordenador como ese, que eligiera por usted sus entrevistas de trabajo?, ¿qué tipo de cosas sería más reacio a delegar en dicho programa?, ¿por qué?

3. *¿Cuáles son las principales estructuras del cerebro y qué función desempeñan en nuestras capacidades y habilidades?*

El sistema nervioso central (SNC) está compuesto por el encéfalo y la médula espinal, y el sistema nervioso periférico (SNP) por el sistema nervioso esquelético y el sistema nervioso autónomo o neurovegetativo (SNA). El SNA está implicado en la respuesta de lucha o huida, preparando al animal para hacer frente a una emergencia y permitiéndole luego recuperarse de ese estado especial de estar listo para la emergencia cuando ésta ha pasado. La corteza cerebral es la capa más externa del encéfalo, la cual contiene la mayoría de los somas celulares de las neuronas del encéfalo. La mayoría de la actividad mental se basa en la actividad de la corteza cerebral. El encéfalo se divide en dos hemisferios cerebrales y cada uno de ellos se divide en cuatro zonas o lóbulos principales: el occipital, el temporal, el parietal y el frontal. Numerosas estructuras subcorticales trabajan junto con la corteza. Por ejemplo, algunas de estas estructuras (como el hipocampo) participan en el almacenamiento de nuevos recuerdos; otras (como el tálamo) participan en la atención, y otras (como la amígdala) participan en la emoción; por último, otras (como el cerebelo y los ganglios basales) participan en el control motor. Estas estructuras desempeñan valiosas y variadas funciones, como se expondrá en capítulos posteriores.

**Piense críticamente**

- Los antiguos griegos creían que el corazón, no la cabeza, era la sede de los procesos mentales. ¿En qué se equivocaban?
- Supongamos que hay un nuevo fármaco que puede proteger una parte del encéfalo de un accidente cerebrovascular, pero sólo una. ¿De todas, qué parte elegiría el lector que quedara salvaguardada?
- ¿Qué papel, si alguno, jugaría esa parte del encéfalo en ayudarle en las entrevistas de trabajo?, ¿por qué?

4. *¿Qué métodos se utilizan para estudiar la cognición?*

La más sólida de las pruebas de una teoría se manifiesta cuando numerosos métodos diferentes le dan soporte; tales pruebas convergentes salvan cualquier posible limitación de un solo método. Uno de los principales objetivos de las investigaciones acerca de la naturaleza de la actividad mental es verificar las distinciones propuestas por las teorías. El método de disociación se utiliza frecuentemente para defender que existen diferentes representaciones o procesos, mientras que el método de asociación se emplea para implicar a una representación o proceso específico en dos o más tareas. Los métodos neurales correlacionales, tales como

los potenciales provocados (PP), la tomografía por emisión de positrones (TEP) y la resonancia magnética funcional (RMf), evalúan la actividad cerebral asociada con la ejecución de tareas específicas. Los métodos neurales causales —tales como el estudio de las alteraciones en pacientes con daño cerebral y de las anomalías consecuentes a la estimulación magnética transcraneal (EMT)— demuestran que un área específica del cerebro es, al menos en parte, responsable de una función cognitiva determinada. Por último, plantear modelos puede no sólo verificar que un conjunto de principios o de mecanismos pueden explicar realmente los datos, sino que también pueden hacer nuevas predicciones. Parece ser que los modelos de redes neurales han conseguido algunas de las características claves de cómo opera el cerebro, y están proporcionando un camino prometedor para explicar hallazgos de la investigación y generar nuevas predicciones. En cualquier caso, estos modelos son sólo aproximaciones y no reflejan exactamente cómo funciona el cerebro.

**Piense críticamente**

- Supongamos que los equipos de neuroimagen se abaratan, bajando de precio de modo que el lector puede permitirse uno. Supongamos también que se hacen pequeños, portátiles y muy fáciles de usar, de modo que puede ponerse uno como un casco y observar la actividad de su cerebro según ocurre. ¿Le sería esto útil? Por ejemplo, ¿qué ocurriría si pudiera usarlo para determinar si ha memorizado cierta información tan bien que la retendría para superar un examen que tendrá lugar dentro de dos días?
- ¿Le gustaría tener una máquina como esa?
- ¿Puede imaginar algún inconveniente de tener un aparato de exploración cerebral pequeño, portátil, barato y asequible?

# Percepción

CAPÍTULO

2

## Objetivos de aprendizaje

Vamos a examinar un sueño. Estamos paseando por el bosque. En un claro encontramos una estatua de mármol de una figura humana. Hay una inscripción en el pedestal: «Vean a uno poseído por una mente sin ideas, una forma sin sensación». Continuamos paseando. Cae la tarde y el bosque está lleno de sombras y sonidos. De repente, a la derecha, vemos la forma de una mole. Saltamos hacia atrás dispuestos a salir corriendo —¿es un oso? No, no hay peligro: el «oso» es tan solo es un arbusto— La noche se vuelve más oscura. El camino asciende ahora y desde lo alto de una colina que apenas puede distinguirse podemos ver las luces de un castillo. Cuando llegamos a él y conseguimos refugio, todo está oscuro en el exterior y desde nuestra habitación con cortinajes no podemos ver lo que se esconde fuera de las murallas. Llega la mañana, corremos las cortinas y vemos...

Estas experiencias imaginarias, así como su solución, ilustran los problemas esenciales de la percepción y cómo se relacionan con la cognición. En este capítulo se examina qué es la percepción y cómo opera. Específicamente, nos ocuparemos de seis cuestiones:

1. ¿Qué es la percepción y por qué es una capacidad difícil de entender?
2. ¿Qué principios generales nos ayudan a entender la percepción?
3. ¿Cómo unimos las partes para reconocer objetos y acontecimientos?
4. ¿Cómo reconocemos objetos y acontecimientos?
5. ¿Cómo afecta nuestro conocimiento a nuestra percepción?
6. Por último, ¿cómo une el cerebro las muchas y diversas señales que utilizamos para percibir?

# 1 Qué significa percibir

El «escultor» de la estatua misteriosa fue el filósofo francés Etienne Bonnot de Condillac (1715-1780), que la creó en su *Tratado sobre las sensaciones* (1754a). La estatua, tal y como la imaginó, tenía en funcionamiento lo que podemos llamar el «*hardware* mental» y el «*software* mental» de un ser humano normal, pero no tenía sentidos. Condillac supuso que un ser como ese no tendría vida mental, que no podían tenerse ideas si faltaba la sensación.

Siguiendo con su experimento imaginario, se vio despejando la nariz de la estatua de forma que ésta pudiera oler. «Si le damos una rosa a la estatua», escribió Condillac, «ésta será, en lo que nos respecta, una estatua que huele una rosa; pero respecto a sí misma, sólo será el aroma de la flor». Esto es, Condillac pensaba que si la estatua tenía tan sólo una única sensación, esa sensación sería el contenido total de su mente.

Incluso si adoptamos una posición menos absoluta que la de Condillac, podemos estar de acuerdo en que la vida mental de un organismo sin sentidos debería ser diferente, de un modo que no podemos imaginar, de la vida mental que nosotros experimentamos. En verdad, la sensación y la percepción nos proporcionan la materia prima para la cognición, pero esta apreciación minusvalora su función. Nuestras percepciones no son un mero registro de los estímulos sensitivos[1]. Procesos cognitivos sofisticados comienzan a trabajar con este material casi inmediatamente, produciendo la interpretación que hace el cerebro del mundo externo a medida que se analizan los estímulos aferentes[2] y el conocimiento existente guía estos procesos dinámicos.

La segunda y tercera parte de nuestro sueño son ejemplos que aclaran porqué la percepción es mucho más que el mero registro de los estímulos sensitivos. En la segunda experiencia de nuestro sueño, la forma amenazante en el bosque nos parece familiar, pero sólo vagamente. Esto se debe a que las imágenes aparecen fuera de su contexto original de *El sueño de una noche de verano* de Shakespeare: «En la noche», dice Teseo, duque de Atenas, «cuando imaginamos cualquier temor, con qué facilidad suponemos que un matorral es un oso». Para Shakespeare los estímulos sensitivos son por naturaleza *ambiguos*, abiertos a múltiples interpretaciones. Éste es el primer problema de la percepción.

¿Qué es lo que ve el lector en la Figura 2-1? Probablemente un cubo. ¿Parece estar flotando sobre un fondo negro con puntos blancos?, ¿o, más bien, estar oculto tras una hoja negra perforada con agujeros? En lo relativo al cubo en sí mismo, ¿cómo ve la superficie más cercana?, ¿angulada hacia arriba y la izquierda o angulada hacia abajo y a la derecha?, *¿por qué, en cualquier caso, ve un cubo?* La imagen, por supuesto, en realidad es una imagen plana en la página. Podría asegurar que puede ver las líneas del cubo cruzando la región en negro, pero dichas líneas no existen en la imagen. Sólo hay ocho puntos blancos colocados en una posición precisa, cada uno de ellos con un conjunto de tres segmentos lineales colocados también en una posición precisa. No obstante, vemos el cubo, aun cuando la imagen no tenga todas las propiedades de un cubo real, incluso las de uno dibujado en la superficie bidimensional, sino un subconjunto disperso de dichas propiedades. Completamos los fragmentos que faltan y percibimos más de lo que hay en realidad. Así pues, el primer proble-

---

[1] O sensoriales. *(N. del T.)*
[2] El *input* sensitivo. *(N. del T.)*

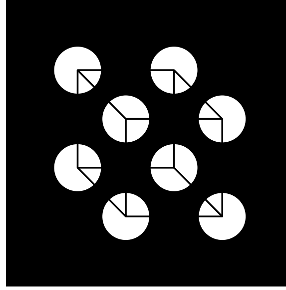


**FIGURA 2-1** Ilusión: ¿qué es lo que ve?

En la figura hay ocho círculos blancos, en cada uno de los cuales hay tres líneas negras. No existen líneas entre los círculos; no hay un cubo. Sin embargo, la mayoría de las personas ve un cubo, o bien sobresaliendo delante de una hoja con círculos blancos o bien detrás de una hoja negra con ocho agujeros. Lo que se percibe es algo más que lo que se registra exactamente mediante los sentidos a partir de las propiedades de la imagen.

ma es que el *input sensitivo no contiene información suficiente para explicar nuestra percepción*. Cuando el lector mira e interpreta la Figura 2-1, por ejemplo, tiene que deducir un objeto a partir de meras pistas.

En la última parte de nuestro sueño, nos levantamos de la cama, vamos a la ventana y abrimos las pesadas cortinas. En un instante nos encontramos frente a un panorama de montañas, campos, casas y pueblos. ¿Qué es lo que *percibimos*? Condillac pensaba que sólo veríamos un mosaico de regiones coloreadas, una experiencia llena de sensaciones pero sin la organización que constituye la percepción (1754b). De hecho, sabemos que podríamos entender lo esencial de la escena después de que se haya presentado a nuestro sentido visual durante tan sólo una pequeña fracción de segundo. Existen estudios que han demostrado que podemos mirar figuras en la pantalla de un ordenador a una velocidad de ocho imágenes por segundo, inspeccionar ese flujo y encontrar, por ejemplo, una escena de *picnic* en la serie (Potter y Levy, 1969) e incluso, la escena de una serie que no contiene un animal (Intraub, 1980). Aun así, Condillac estaba en lo cierto al señalar un problema: este segundo problema es que el mundo nos presenta *demasiado input sensitivo para incluirlo en nuestras percepciones coherentes en un sólo momento determinado*.

Nuestra capacidad de emprender una *atención selectiva* nos permite elegir parte del *input* sensitivo actual para procesarla más a fondo a expensas de otros aspectos de dicho *input*. Examinaremos detalladamente la naturaleza de la atención en el Capítulo 3.

Los dos problemas de la percepción en relación con el mundo sensorial, son pues «no es suficiente» y «es demasiado». En ambos casos, se necesitan mecanismos cognitivos que proporcionen los medios para interpretar y entender el material que nos aportan los sentidos.



## *Control de comprensión*



1. ¿Por qué es importante la percepción para la cognición?
2. ¿Cuáles son los dos problemas principales que dificultan la percepción?

# 2 Cómo funciona: el caso de la percepción visual

El objetivo de la percepción es obtener información sobre el entorno y darle sentido. La estatua de Condillac nos dice que nuestra vida mental depende de alcanzar este objetivo. El oso de Teseo nos recuerda que la información de la que disponemos puede ser ambigua, y por lo tanto insuficiente, para la interpretación determinante que sólo pueden hacer los procesos cognitivos y el conocimiento básico. La vista desde el castillo de Condillac nos revela que hay demasiada información para que la procesemos y que debemos seleccionar.

Una acción análoga de selección se ha de hacer justo ahora: todos nuestros sentidos tienen una importancia vital y ningún sentido actúa por separado de los otros. Por ejemplo, consideremos la interacción entre visión, oído, gusto, olfato y tacto en la última cena a la que hayamos asistido. Lamentablemente, toda su profusión no puede abarcarse de forma adecuada en un solo capítulo; así pues, renunciando a la amplitud en aras de la profundidad, elegiremos la visión como tema de estudio y luego seleccionaremos una serie restringida de ejemplos dentro del campo de la visión.

La visión, al igual que el oído, es un sentido a distancia (un telerreceptor), que evolucionó para tener conocimiento de los objetos sin establecer contacto directo. Nos puede decir *qué* es lo que hay ahí afuera y *dónde* se encuentra. Si pensamos en los seres humanos y otras criaturas como organismos que tienen que interactuar con el entorno, vemos que nuestros sentidos también aportan algo más: nos empujan a *actuar*. ¿Qué hay ahí afuera, dónde se encuentra y qué podemos hacer respecto a ello? (¡Oh, mira, una hermosa manzana al alcance de la mano —voy a cogerla!—). La percepción visual capta información sobre las particularidades y la localización de los objetos, de modo que podamos darles sentido e interactuar con nuestro medio ambiente.

## 2.1. La estructura del sistema visual

Las principales vías visuales que hay en el cerebro pueden concebirse como un intrincado diseño de cableado neural que conecta una serie jerárquica de áreas cerebrales (Figura 2-2). Comenzando por abajo, el patrón de intensidad de la luz, bordes (o contornos) y otras características de la escena visual forman una imagen en la *retina*, las capas de células que responden a la luz —llamadas *fotorreceptores*— y en las células nerviosas situadas en la zona posterior de cada ojo. Allí la luz se convierte en señales electroquímicas, que se transmiten al cerebro a través de los *nervios ópticos* (uno procedente de cada ojo). Cada nervio óptico es un haz de largas fibras de axones de las *células ganglionares* de la retina. Los axones establecen sinapsis con las neuronas del *núcleo geniculado lateral* (NGL) del tálamo, una estructura que se encuentra en el interior del cerebro. Desde allí, axones de las neuronas del NGL envían señales a la corteza visual primaria (llamada también *V1* —por «área visual 1» o «corteza estriada», debido a que cuando se tiñe tiene la apariencia de una banda con estrías a su través que puede verse con el microscopio—. El *output* de la corteza estriada abastece información a multitud de áreas visuales (V2, V3, V4 y otras) así como a áreas que no sólo tienen una función visual.

Pasando la corteza visual primaria, se pueden identificar dos vías principales. Una corriente o **vía dorsal** se extiende hacia arriba hasta los lóbulos parietales y es importante para procesar la información sobre dónde se localizan los objetos y cómo se

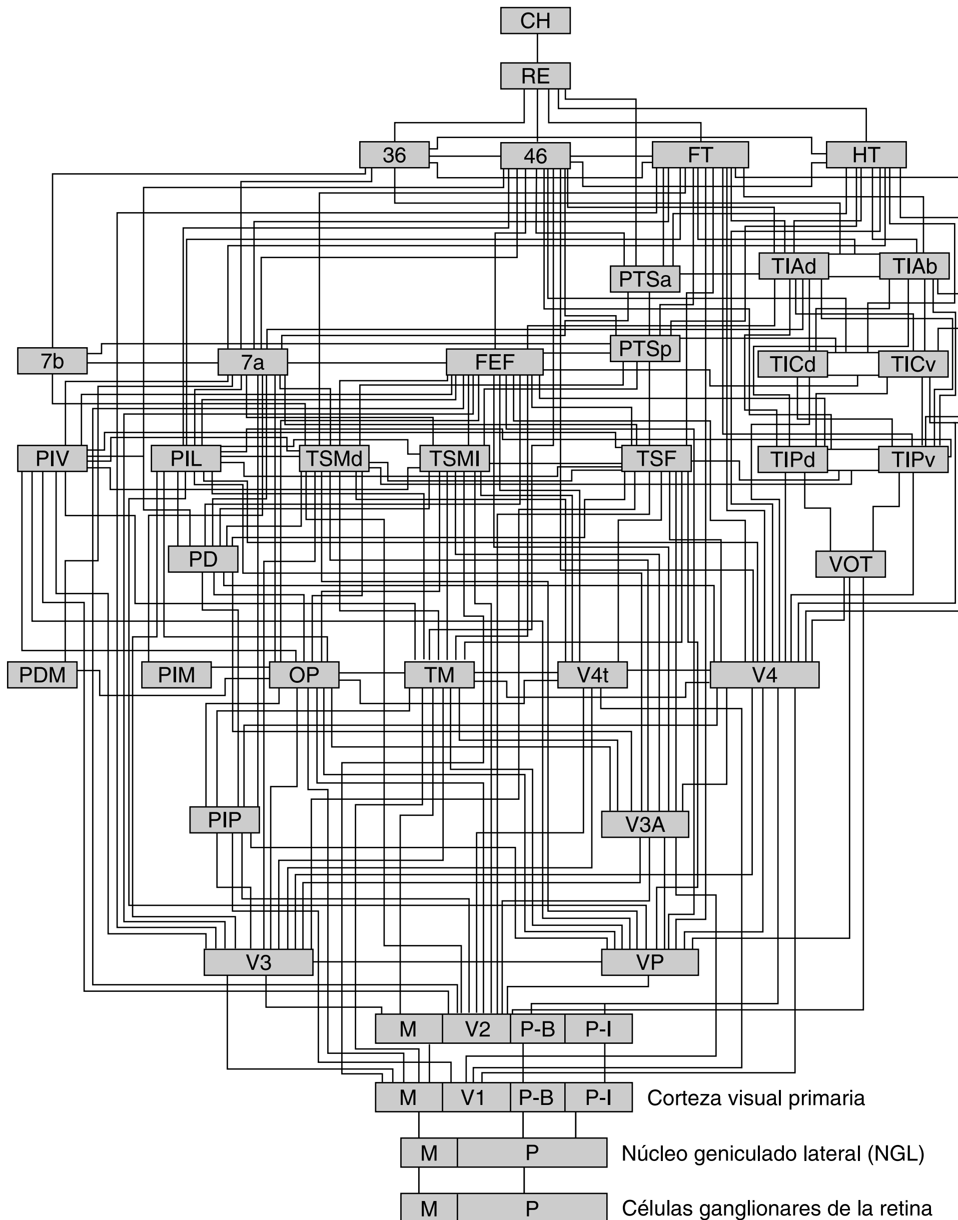



**FIGURA 2-2** Complejidad estructural y funcional

Un «diagrama de cableado» del sistema visual, que muestra las conexiones entre áreas cerebrales. Repárese en que existen dos tipos de células ganglionares retinianas (magnocelulares, llamadas abreviadamente *M*, y parvocelulares, abreviadamente *P*). Estas células proyectan axones a diferentes partes de las áreas V1 y V2. (Felleman, D. J. y Van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral *Cortex, 1*, 1-47 (Fig. 4 en p. 30). Reproducido con autorización de Oxford University Press.

podría proceder respecto a ellos, lo que guía movimientos tales como asir los objetos. Una corriente o **vía ventral** se extiende hacia abajo hasta los lóbulos temporales; esta vía procesa información que lleva al reconocimiento y la identificación de los objetos. Este supuesto de las dos vías es válido pero, como puede verse en la Figura 2-2, es una simplificación excesiva de una red extremadamente compleja.

## 2.2. Procesamiento de arriba a abajo y procesamiento de abajo a arriba

La desalentadora complejidad del sistema visual es tanto funcional como estructural, según puede verse en la Figura 2-2. Las vías y sus muchas ramificaciones no son direcciones de un único sentido. La mayoría de las áreas visuales que envían *output* a otra área reciben asimismo *input* de dicha área; esto es, tienen *conexiones recíprocas* —por ejemplo, el NGL proporciona *input* a V1, y V1 proporciona otro *input* al NGL—. Esta disposición dinámica refleja un principio importante de la percepción visual: la percepción visual —de hecho, cualquier modalidad perceptiva— es el resultado de procesos de abajo a arriba y de arriba a abajo[3]. Los procesos de *abajo a arriba* están guiados por información sensitiva procedente del entorno físico. Los procesos de *arriba a abajo* buscan activamente y extraen información sensitiva, y están guiados por nuestro conocimiento, nuestras creencias, expectativas y objetivos. Casi cada acto de percepción implica ambos tipos de procesamiento: de abajo a arriba y de arriba a abajo.

Un modo de experimentar de forma consciente la distinción es retardar parte de la contribución de arriba a abajo. Mire el lector la Figura 2-3. Por supuesto que hay algo que ver: los procesos de abajo a arriba le muestran líneas y delimitan regiones. Pero si juega mentalmente con la imagen y considera lo que podrían significar las regiones, puede sentir en funcionamiento una contribución de arriba a abajo. La imagen puede ser... ¡un oso trepando por detrás del tronco de un árbol! Haya llegado o no por sí mismo a esta respuesta, su apreciación de ella depende del conocimiento de arriba a abajo: su experiencia del aspecto que tienen un tronco y las garras de un oso, su conocimiento de cómo los osos trepan por los árboles. Este tipo de conocimiento no sólo organiza lo que se ve, sino que también modula los procesos que han creado las representaciones de las líneas y las regiones.

Otro ejemplo que indica la distinción entre el procesamiento de abajo a arriba y el de arriba a abajo, así como la relación entre ellos puede encontrarse en tareas de búsqueda visual. Si se le pidiera al lector que encuentre el objetivo en la Figura 2-4a, no tendría problema alguno. Mediante el procesamiento de abajo a arriba se identifica

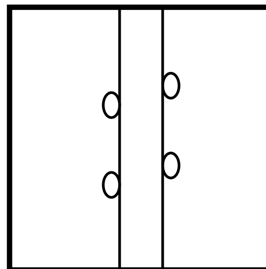


**FIGURA 2-3** ¿Qué es esto?

El dibujo tiene dos líneas verticales y cuatro elipses —aunque se puede ver algo más que esto—. Véase el texto para una explicación detallada.

(De Droodles-The Classic Collection by Roger Price. Copyright © 2000 por Tallfellow Press Inc. Reproducido con autorización. www.tallfellow.com.)

[3] También llamados procesamiento ascendente y descendente, respectivamente. *(N. del T.)*

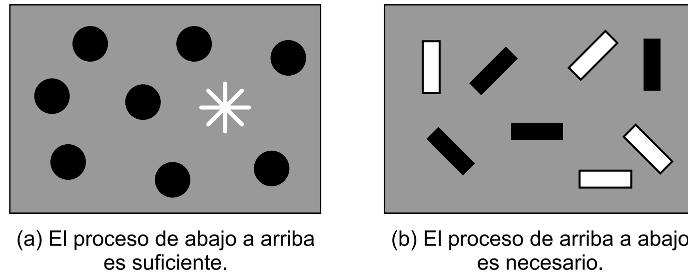



**FIGURA 2-4** Demostración de tareas de búsqueda visual

En cada panel hay un elemento que es el objetivo. En (a) el objetivo es obvio: el procesamiento de abajo a arriba de los atributos de cada objeto nos dice que un elemento es muy diferente del resto. En (b) el procesamiento de abajo a arriba no ayuda, dado que todos los elementos difieren. La guía de arriba a abajo de la atención al objetivo ocurre después de que se nos haya dicho que el objetivo es una línea negra horizontal.

rápidamente la estrella blanca como el elemento que destaca. Pero el procesamiento de abajo a arriba no es suficiente para guiarle en la búsqueda del objetivo en la Figura 2-4b. En ella se ve un número de elementos que difieren en varios aspectos: forma, color y orientación. Para encontrar el objetivo se precisa información: «el objetivo es la barra negra y horizontal», y por lo tanto, procesamiento de arriba a abajo. Ahora dispone de los medios para encontrar el objetivo.

Estos dos ejemplos demuestran que las percepciones (esto es un oso, esto es un objetivo) son *interpretaciones* de lo que vemos, representaciones producidas por la interacción del procesamiento de arriba a abajo con el de abajo a arriba.

## 2.3. Aprender a ver

Nuestra interpretación del mundo que nos rodea está determinada por la interacción de dos hechos: (1) la estructura biológica de nuestro cerebro y (2) la experiencia, que modifica dicha estructura. El sistema visual de los niños recién nacidos está desarrollado casi por completo en el momento del nacimiento, y la mayoría de los principales cambios estructurales se consuman en el primer año de vida (Huttenlocher, 1993, 2002). Los bebés abren los ojos casi inmediatamente después de nacer y pronto comienzan a mirar alrededor, moviéndolos para investigar su entorno y para fijarse en los objetos de interés. Por lo general, las fijaciones de la mirada duran alrededor de medio segundo, de modo que los bebés echan unos 10 millones de ojeadas a su entorno en su primer año de vida. Esto supone una cantidad enorme de información. Un bebé puede ver la cara de uno de sus padres, la cuna que le rodea y el biberón muchos miles de veces, con frecuencia desde diferentes ángulos, en diferentes ocasiones a lo largo del día y en diferentes contextos. A medida que los recuerdos que perduran de cada suceso se combinan con cada nuevo caso, la cascada de información se acumula de alguna manera para formar representaciones mentales duraderas de las personas, los lugares y los objetos del entorno. Estas representaciones forman la base del reconocimiento posterior de los objetos.

Las investigaciones sobre el desarrollo de la percepción visual en animales recién nacidos han demostrado que las características del ambiente de los niños pequeños en determinadas fases influencian marcadamente en ciertas capacidades que tienen en su vida adulta. Las primeras etapas de la vida incluyen **períodos críticos**, determinados

biológicamente, durante los cuales el animal ha de desarrollar respuestas específicas. Si la exposición al medio ambiente natural se limita durante el período crítico para una respuesta específica, el animal no desarrollará dicha capacidad adecuadamente, incluso si tiene una exposición normal durante su vida adulta. Por ejemplo, un cachorro de gato criado con un parche en el ojo durante seis meses puede convertirse en un gato con dos ojos normales pero con anomalías en la percepción de la profundidad que depende la integración de la información procedente de ambos ojos (Wiesel y Hubel, 1963). En un gato como ése, el área de la corteza visual dedicada a analizar el *input* del ojo descubierto es mayor que la del ojo tapado con el parche. Resulta interesante saber que un cachorro de gato con parches en ambos ojos durante el mismo período no tendrá anomalías en la percepción de la profundidad cuando sea adulto y tendrá una organización cortical más equilibrada (Wiesel y Hubel, 1965). Diferentes aspectos del procesamiento sensitivo tienen diferentes períodos críticos.

Además de esto, parece ser que diferentes fuentes y diferentes modalidades del *input* sensitivo compiten por su representación en la corteza (Le Vay *et al.*, 1980). Si un canal sensitivo, como el *input* procedente de un ojo, es más activo que otro, los recursos corticales se redistribuyen en esa dirección y, una vez asignados en la infancia, tales recursos no se modifican con facilidad en la edad adulta. La competición por la representación neural se ha demostrado en todo el encéfalo y para muchas capacidades diferentes: existe competición entre la percepción auditiva y la visual (Cynader, 1979; Gyllensten *et al.*, 1966); competición para percibir las sensaciones procedentes de diferentes dedos (Jenkins *et al.*, 1990; Merzenich y Kaas, 1982); y competición entre diferentes idiomas en personas bilingües (Neville y Bavelier, 1998).

Puesto que se sabe que la experiencia altera la evolución del desarrollo visual, se han desarrollado programas para estimular al feto con luces y sonidos que no se encuentran normalmente presentes en la vida uterina con la intención de acelerar o mejorar el desarrollo. La estimulación prenatal normal, como el sonido de la voz de la madre, puede hacer que los bebés tengan una percepción mejor. En cualquier caso, nuestros conocimientos en esta área son limitados y es posible que una estimulación anormal pueda llevar a un detrimento del desarrollo en vez de beneficiarlo. De hecho, en algunos estudios se ha encontrado que cierta estimulación prenatal puede disminuir el desarrollo perceptivo normal más adelante en la vida (Lickliter, 2000). Aunque se sabe que nuestro medio ambiente modela las estructuras cerebrales en las que se basa nuestra capacidad de una cognición normal, todavía no se sabe cómo controla dicho proceso.



## Control de comprensión



1. ¿En qué sentido está estructurado el cerebro como una jerarquía? ¿En qué sentido no lo está?
2. ¿Cuál es la diferencia entre el procesamiento de abajo a arriba y el de arriba a abajo?
3. ¿Cómo influye la experiencia visual en lo que vemos?

# 3 Construir de abajo a arriba: de las características a los objetos

La estatua de Condillac tenía toda la maquinaria necesaria para la cognición pero no tenía *input* sensitivo, así pues su cerebro nunca utilizó su enorme capacidad para representar y procesar el mundo físico. Las ingeniosas técnicas del cerebro para combinar las características percibidas de modo que podamos entender la complejidad de lo que nos rodea decidiendo si son objetos familiares o no familiares, yacían ociosas y sin utilidad. Si los ojos de la estatua se abrieran el mundo, dejarían pasar un flujo de información a través de vías neurales y se realizaría una considerable cantidad de sofisticado análisis para detectar aspectos importantes del entorno. Y nosotros, que tenemos acceso al mundo a través de nuestros sentidos, tenemos un cerebro muy ocupado. Veamos qué es lo que ocurre en la modalidad de la visión, comenzando por el procesamiento de abajo a arriba.

## 3.1. Procesamiento de las características: los elementos de construcción de la percepción

Las características visuales incluyen puntos y bordes, colores y formas, movimientos y texturas. Todos estos son atributos que en sí mismos no son objetos, pero que en combinación pueden definir los objetos que vemos. Son los elementos con los que se construye la percepción.

En los ojos, las células fotorreceptoras de la retina convierten la energía de la luz *(fotones)* reflejada por los diversos objetos del mundo físico en señales electroquímicas que pueden transmitirse por el sistema nervioso. Cuanta más luz, mayor señal. Intensidades variables de luz inciden en la matriz de fotorreceptores, de modo que el *input* en un momento dado puede concebirse como un conjunto de números, siendo cada número equivalente a la intensidad de la luz, un número por fotorreceptor, de modo similar a la matriz de números que se muestra en la Figura 2-5. La tarea de los procesos de abajo a arriba en el sistema visual es extraer del equivalente físico de esta aglomeración de números las características que permitirán los procesos posteriores que se necesitan para llegar a comprender lo que hay ahí fuera, en el mundo.

### 3.1.1. Puntos y bordes

Podemos progresar hacia este objetivo de obtención de características si miramos una *célula ganglionar*, una de esas células de la retina cuyos axones forman el nervio óptico. Cada célula ganglionar está conectada, a través de una serie de otras células, a un conjunto de fotorreceptores vecinos entre sí. Esto significa que la célula ganglionar responderá tan sólo a la luz que incide en dichos receptores y, por lo tanto, a la luz de una región específica del **campo visual**, la parte del mundo que es visible en el momento actual. Veamos la Figura 2-6. Hay un punto de luz en el mundo, el estímulo. Los receptores, en este ejemplo, responden con una señal de 100 unidades cuando la luz es brillante y de 10 unidades cuando la luz es tenue. Nuestras células ganglionares reciben el *input* de los receptores que se encuentran en su campo receptor, la región representada en color en la parte inferior de la figura. En la visión, el **campo receptor**

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 732 | 579 | 587 | 72 | 781 | 89 | 582 | 732 | 579 | 587 | 72 | 781 | 89 | 582 |
| 513 | 472 | 456 | 554 | 469 | 137 | 354 | 513 | 472 | 456 | 554 | 469 | 137 | 354 |
| 380 | 922 | 848 | 806 | 18 | 210 | 559 | 380 | 922 | 848 | 806 | 18 | 210 | 559 |
| 964 | 423 | 278 | 549 | 10 | 122 | 867 | 964 | 423 | 278 | 549 | 10 | 122 | 867 |
| 336 | 338 | 438 | 576 | 419 | 698 | 786 | 336 | 338 | 438 | 576 | 419 | 698 | 786 |
| 578 | 937 | 649 | 585 | 97 | 210 | 561 | 578 | 937 | 649 | 585 | 97 | 210 | 561 |
| 433 | 959 | 124 | 949 | 563 | 204 | 26 | 433 | 959 | 124 | 949 | 563 | 204 | 26 |
| 979 | 333 | 813 | 643 | 872 | 547 | 762 | 979 | 333 | 813 | 643 | 872 | 547 | 762 |
| 256 | 712 | 203 | 56 | 185 | 86 | 667 | 256 | 712 | 203 | 56 | 185 | 86 | 667 |
| 313 | 499 | 254 | 82 | 307 | 763 | 285 | 313 | 499 | 254 | 82 | 307 | 763 | 285 |
| 142 | 521 | 377 | 22 | 16 | 970 | 383 | 142 | 521 | 377 | 22 | 16 | 970 | 383 |
| 93 | 875 | 232 | 346 | 509 | 852 | 423 | 93 | 875 | 232 | 346 | 509 | 852 | 423 |
| 311 | 435 | 477 | 319 | 243 | 55 | 205 | 311 | 435 | 477 | 319 | 243 | 55 | 205 |
| 251 | 544 | 790 | 650 | 888 | 280 | 342 | 251 | 544 | 790 | 650 | 888 | 280 | 342 |
| 140 | 805 | 494 | 549 | 5 | 487 | 756 | 140 | 805 | 494 | 549 | 5 | 487 | 756 |
| 984 | 31 | 55 | 525 | 655 | 394 | 929 | 984 | 31 | 55 | 525 | 655 | 394 | 929 |
| 489 | 785 | 801 | 860 | 429 | 941 | 935 | 489 | 785 | 801 | 860 | 429 | 941 | 935 |
| 555 | 999 | 108 | 445 | 301 | 429 | 379 | 555 | 999 | 108 | 445 | 301 | 429 | 379 |
| 861 | 123 | 887 | 760 | 473 | 919 | 41 | 861 | 123 | 887 | 760 | 473 | 919 | 41 |
| 869 | 418 | 277 | 546 | 33 | 920 | 373 | 869 | 418 | 277 | 546 | 33 | 920 | 373 |
| 305 | 20 | 497 | 848 | 531 | 638 | 497 | 305 | 20 | 497 | 848 | 531 | 638 | 497 |
| 730 | 626 | 541 | 885 | 509 | 768 | 647 | 730 | 626 | 541 | 885 | 509 | 768 | 647 |
| 180 | 212 | 913 | 867 | 747 | 559 | 848 | 180 | 212 | 913 | 867 | 747 | 559 | 848 |
| 557 | 191 | 92 | 549 | 638 | 757 | 525 | 557 | 191 | 92 | 549 | 638 | 757 | 525 |
| 616 | 162 | 664 | 954 | 330 | 139 | 327 | 616 | 162 | 664 | 954 | 330 | 139 | 327 |

**FIGURA 2-5** Niveles de luminosidad para cada punto del espacio en una escena determinada

Valores como éstos podrían generarse midiendo la actividad de un conjunto de fotorreceptores del ojo. ¿Pero qué es lo que ve el ojo? Se requiere mucho más análisis.

de una célula es el área del campo visual en la cual un estímulo afectará la actividad de la célula. Si estuviéramos hablando de una célula que respondiera al tacto, el campo receptor sería una zona de la piel

Y lo que es más importante, las conexiones de los fotorreceptores con las células ganglionares no son todas iguales. Cuando la luz incide en determinadas partes del campo receptor, la célula se *excita*; esto es, se hace más activa. Cuando incide en cualquier otro lugar, la célula se *inhibe*, haciéndose menos activa. Para ser más específicos, el cableado neural está dispuesto de tal forma que el *input* en la zona central (en blanco) excita la célula ganglionar, mientras que el *input* en la región que la circunda —periferia— (en gris) la inhibe. Dado que hemos dispuesto que el punto de luz caiga en la parte central excitadora, esta célula ganglionar se excitará fuertemente. Si la región central fuera estimulada por una luz tenue, la célula no se excitaría mucho. Y si la totalidad del campo tuviera un brillo de 100 unidades, la *célula tampoco se excitaría mucho*, debido a que la fuerte excitación del centro se vería compensada por

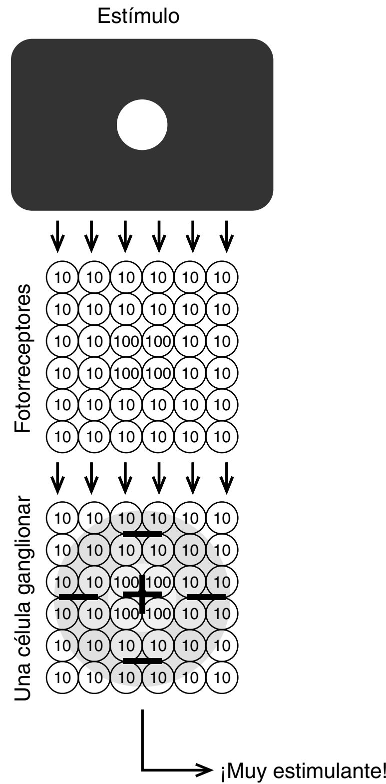



**FIGURA 2-6** Etapas de análisis en una célula ganglionar de la retina

*Arriba*: Una escena visual sencilla que tiene un punto blanco sobre un fondo oscuro, el estímulo. *En el centro*: Un conjunto de fotorreceptores detecta la luz de cada parte de la escena e informa sobre su cantidad: 10 para la parte oscura y 100 para las partes iluminadas (unidades arbitrarias). *Abajo*: Una célula ganglionar recoge *input* de los fotorreceptores en su campo receptor, según la regla de centro-periferia que se muestra mediante las áreas «−» y «+». Las señales recibidas en el área inhibidora («−») se restan de las recibidas en el área facilitadora («+»). En este ejemplo en concreto, la facilitación añade más de 400 unidades y la inhibición resta tan sólo 200 unidades, de modo que la para la célula ganglionar ese estímulo resulta francamente estimulante.

una fuerte inhibición procedente de la periferia. Así pues, esta célula se excita al máximo cuando un punto de luz brillante del tamaño de la región central incide en la región central.

Ocurre algo interesante cuando un conjunto de fotorreceptores organizados en estos campos receptores centro-periferia reciben *input* de una parte a otra de un borde de la escena visual, tal como ocurre en el límite entre el rectángulo claro y el oscuro de la Figura 2-7. Supongamos que la máxima estimulación del centro de cada campo receptor produce 10 unidades de excitación y que la estimulación de la periferia produce 5 unidades de inhibición. Un punto de luz que incida justo en el centro producirá 10 unidades de respuesta. Un campo brillante, que ocupe la totalidad del campo receptor (como ocurre en la parte izquierda de la Figura 2-7) produce tan sólo cinco unidades; esto es el rectángulo claro. El área de la derecha es oscura; digamos que no incide absolutamente nada de luz y que el valor es cero. Veamos ahora qué sucede en el borde entre el área clara y la oscura. Aquí, un campo receptor se encuentra en su mayor parte en el lado claro y otro en el lado oscuro. Cuando el centro se encuentra en el lado brillante y un poco de la periferia en la oscuridad, la respuesta aumenta,

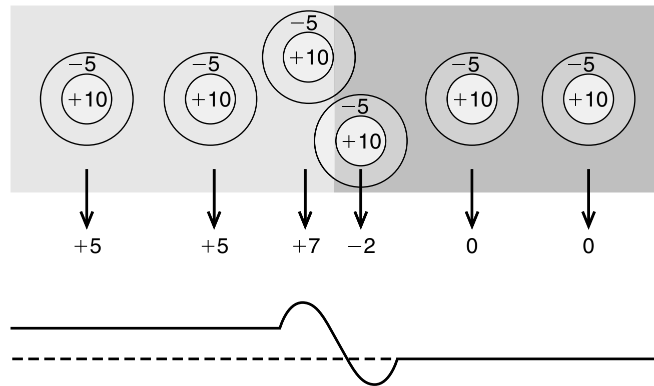



**FIGURA 2-7** Cómo detectamos los bordes

En una presentación visual de un rectángulo de luz al lado de un rectángulo oscuro se muestran los campos receptores de células ganglionares (círculos externos, grandes) con +10 regiones excitadoras y −5 regiones inhibidoras. En el borde entre los dos rectángulos ocurren respuestas interesantes. El gráfico de la parte inferior de la figura registra la respuesta en las diferentes regiones de la presentación.

quizá hasta siete unidades. Cuando el centro se encuentra en el lado oscuro y sólo una parte de la periferia en el lado brillante, la respuesta podría disminuir hasta un nivel «más oscuro que la oscuridad», cuantificado aquí como −2. De este modo, la estructura y la disposición de los fotorreceptores pueden servir para reforzar el contraste en los bordes.

La Figura 2-7 analiza el efecto, la Figura 2-8 lo demuestra. Las áreas grises (las barras o rectángulos) son de hecho uniformes cada una de ellas, pero cada barra más clara *parece* ser un poco más clara en su lado derecho, donde se encuentra junto a una barra más oscura, y cada barra oscura *parece* ser un poco más oscura en el lado izquierdo correspondiente. Este fenómeno fue descrito por el físico austriaco Ernst Mach a mediados del siglo XIX (Mach, 1865; Ratliff, 1965) y a dicho tipo de barras como las de la Figura 2-8 se les llama *bandas de Mach*. Este fenómeno perceptivo se predice por las respuestas de las células ganglionares. La organización centro-periferia de las células ganglionares está bien diseñada para identificar los bordes en el entorno visual.



**FIGURA 2-8** Una demostración de las bandas de Mach

Se presentan seis rectángulos uniformes colindantes, ordenados desde el más claro al más oscuro. Aunque el nivel de gris en cada rectángulo es uniforme, parece que cada uno es un poco más claro en su borde derecho que en su borde izquierdo y más oscuro en su borde izquierdo. Estos efectos de borde se producen debido a los rectángulos vecinos y se predicen a partir de las respuestas de las células ganglionares, representadas en la Figura 2-7.

### 3.1.2. Desechar información

El sistema visual parece estar diseñado para recoger información sobre características, tales como puntos de luz y bordes, y para no emplear innecesariamente energía en áreas casi uniformes donde no ocurre demasiado. Esta predisposición se demuestra en la ilusión de Craik O'Brien Cornsweet, que se representa en la Figura 2-9 (Cornsweet, 1970; Craik, 1940; O'Brien, 1958). La parte (a) de la figura parece ser un rectángulo más claro y otro más oscuro, cada uno de ellos con un tono que varía de más oscuro a más claro. Si se cubre el borde en el centro entre los dos rectángulos, como se hace en la figura (b), se verá que la mayoría de las áreas de los dos rectángulos tienen el mismo tono de gris. El sistema visual detectó el borde central entre lo claro y lo oscuro y, en efecto, supuso —no sin razón— que la imagen era más clara en el lado claro del borde que en el lado más oscuro. Puesto que la información sobre bordes es importante para definir la forma de los objetos y proporcionar pistas sobre dónde dirigir la acción, tiene sentido que el sistema visual esté ajustado para identificar bordes. Desechar información relativa a la intensidad de la iluminación en cada punto del espacio —información que nos permitiría ver que las partes del extremo izquierdo y el derecho de la figura tienen el mismo tono gris—, demuestra que la percepción visual obtiene eficazmente información acerca de las características visuales ignorando algunos datos.

El sistema visual humano procesa su *input* en detalle, pero no en cualquier parte del campo visual. También en este caso parte de la información se desecha. Por ejemplo, cuando leemos dirigimos los ojos a una palabra tras otra, fijando la mirada en una sucesión de puntos en la página. Al hacer esto, la imagen de la palabra incide en la *fóvea*, una parte de la retina que se sirve de muchas células ganglionares con minúsculos campos receptores. En ocasiones, algunos de ellos son tan pequeños que la totalidad de su región central recibe *input* de un único fotorreceptor. El resultado es que esta área tiene capacidad de alta resolución y así pueden percibirse detalles finos (tal como distinguir los garabatos de letras y números). Según nos alejamos del punto de fijación, los campos receptores se hacen cada vez mayores, de modo que cientos de

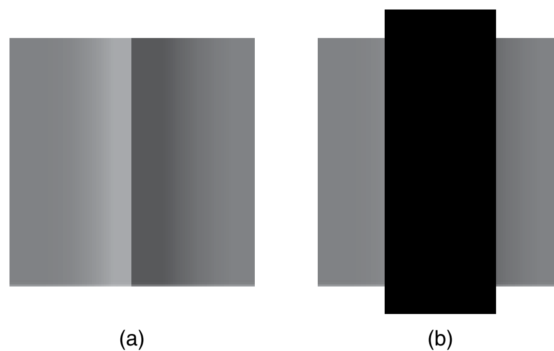



**FIGURA 2-9** La ilusión de Craik Cornsweet O'Brien

(a) Se muestra un rectángulo gris con un borde especial en el centro. El rectángulo parece estar dividido, con una región más clara a la izquierda y una región más oscura a la derecha. Si se mira con detenimiento, se verá que en realidad las dos regiones no son uniformes. Hay una transición gradual en cada lado, lo que produce un cambio brusco de claro a oscuro en el centro. (b) Es la misma figura que la de (a), pero con la región central cubierta con un rectángulo negro. Ahora se puede ver que las regiones grises realmente son iguales. Inténtelo colocando un dedo sobre la región central de (a) para poner de manifiesto la ilusión.

receptores pueden converger en un único centro del campo receptor. Estos grandes campos receptores no pueden procesar detalles finos y, en consecuencia, nosotros tampoco podemos hacerlo en dichas partes del campo. Mire el lector la letra «A» en la presentación siguiente:

A B C D E F G H I J

¿Hasta dónde puede leer de ese parte del alfabeto sin desplazar la mirada de la letra «A»? Si dice que puede ir más allá de la «E» o de la «F», probablemente está haciendo trampas. ¿Por qué desechar toda esta información? Porque se malgastaría: nuestro cerebro, simplemente, no puede procesar la totalidad de la imagen con la resolución de detalle de la que se dispone en la fóvea.

### 3.1.3. Procesamiento neural de las características

El trayecto al cerebro desde las células ganglionares es a través de los nervios ópticos, que se entrecruzan justo antes de entrar en el cerebro formando el *quiasma óptico*, llamado así porque tiene la forma de la letra griega «$\chi$» o chi. En este punto, algunas de las fibras de cada nervio óptico cruzan al hemisferio opuesto del cerebro, enviando información desde el lado izquierdo del campo visual de cada ojo al hemisferio derecho e información del lado derecho del campo visual al hemisferio izquierdo. Diversas vías conducen la información al núcleo geniculado lateral y de aquí a la corteza visual primaria.

En la corteza visual primaria, la totalidad del campo visual se representa de una parte a otra de la superficie de la corteza. Las células de la corteza visual primaria (V1), la corteza estriada, responden a las variaciones de características básicas tales como orientación, movimiento y color. El *output* de V1 por la vía dorsal o ventral suministra información a un conjunto de áreas visuales, conocidas colectivamente como corteza extraestriada (e individualmente como V2, V3, V4 y así sucesivamente). La corteza extraestriada contiene áreas cuyas células parecen estar especializadas en procesar más aún estas características básicas y en las representaciones más elaboradas, tales como las caras.

Las neuronas están organizadas funcionalmente en sentido vertical así como a lo largo de la superficie de la corteza. La corteza visual está dividida en *hipercolumnas*, módulos funcionales del cerebro con una superficie de aproximadamente un milímetro por dos milímetros y un espesor de unos cuatro milímetros. Todas las células de una hipercolumna se activarán ante estímulos que se presenten en una pequeña parte del campo visual. Las células de la siguiente hipercolumna responderán al *input* de la parte vecina del espacio visual. Se dedican muchas más hipercolumnas al procesamiento detallado del *input* procedente de la fóvea que al procesamiento tosco del que llega de las partes más periféricas del campo visual. Dentro de una hipercolumna existe una organización más detallada. Aquí las células se ordenan por su sensibilidad a aspectos específicos de la característica visual, como pueden ser barras[4] con una orientación específica. Así pues, si una célula que pertenece a una hipercolumna sensible a la orientación de una barra responde preferentemente a líneas verticales, la célula más próxima lo hará a líneas un poco inclinadas a partir de la vertical, y la siguiente a líneas con algo más de inclinación.

[4] O franjas o segmentos lineales. *(N. del T.)*

Merece la pena examinar la respuesta a la orientación con un poco más de detenimiento para apreciar la fina discriminación del procesamiento neural. Somos muy sensibles a las variaciones de orientación. En condiciones de buena visibilidad (con buena iluminación y sin que nada dificulte la vista) podemos decir fácilmente cuál es la diferencia entre una línea vertical y una línea con una inclinación de 1º respecto a la vertical. ¿Significa esto que cada hipercolumna necesita neuronas detectoras de orientación sintonizadas con 180º o aún con más precisión, al menos una para cada grado de inclinación desde la vertical hasta la horizontal (a 90º) y siguientes inclinaciones hasta volver alcanzar la vertical a los 180º? (Piense en cómo se va inclinando la aguja de los segundos en la esfera de un reloj a medida que se mueve desde 0 hasta 30 segundos). No, al parecer el sistema opera de modo diferente. Cada neurona individual responde a un intervalo bastante amplio de orientaciones. Una neurona podría responder mejor a líneas con una inclinación de 15º a la izquierda respecto a la vertical *y también* responder a líneas verticales y a líneas inclinadas 30º. Comparando la actividad en una *población* de neuronas se obtiene una evaluación precisa de la orientación. Así, simplificando digamos: si ciertas neuronas están sintonizadas de forma óptima con una inclinación de 15º a la izquierda y otras con el mismo grado de inclinación a la derecha, una línea que se perciba como vertical sería una que estimulase por igual a ambas poblaciones neuronales.

¿Cómo sabemos que es así cómo funciona este sistema? Una manera de demostrar la sintonización de orientación selectiva de las neuronas es fijar la mirada en un patrón de líneas que tienen la misma inclinación, lo que pronto agotará a algunas de las neuronas. Supongamos que «vertical» se define como igual *output* de neuronas sensibles a la inclinación a la izquierda e inclinación a la derecha; supongamos además que cansamos a las neuronas sensibles a la inclinación a la derecha. Ahora una línea que en realidad es vertical parece estar inclinada hacia la izquierda. La línea, que normalmente hubiera producido la misma actividad en las neuronas sensibles a la inclinación a la derecha y a la izquierda, produce más actividad en las neuronas sensibles a la inclinación a la izquierda debido a que las sensibles a la inclinación a la derecha han agotado su tasa de disparo. La comparación de izquierda y derecha estará sesgada a la izquierda, lo que produce la percepción de una línea inclinada. Este sesgo en la orientación percibida se conoce como **posefecto de inclinación** (Figura 2-10) —pruebe el lector la experiencia—. Efectos similares ocurren en cuanto al color, el tamaño y (de forma más impresionante) la dirección del movimiento. En todos los casos, el principio es el mismo: el valor de una característica particular está determinado por la comparación entre dos o más conjuntos de neuronas —con diferentes sensibilidades— que responden a dicho estímulo. Si se cambia la reactividad relativa de los conjuntos de neuronas que se están comparando, se cambia la percepción de la característica.

El movimiento se detecta en el área V5 (también llamada TM, por área visual «temporal medial»), un área situada en la parte lateral de la corteza extraestriada (Dubner y Zeki, 1971). Las células de esta área responden a un objeto que se mueve en una dirección particular, como hacia arriba o hacia abajo, o tal vez acercándose o alejándose del observador. ¿Cómo se sabe que esta área concreta del cerebro es crucial para la representación y procesamiento del movimiento en el cerebro humano? La estimulación magnética transcraneal (EMT, véase el Capítulo 1) de esta área puede impedir temporalmente a las personas que vean el movimiento o inducirlas a ver un movimiento que no ocurre (Beckers y Homberg, 1992; Beckers y Zeki, 1995; Cowey y Wash, 2000). Además, la lesión de esta área provoca **acinetopsia,** o ceguera

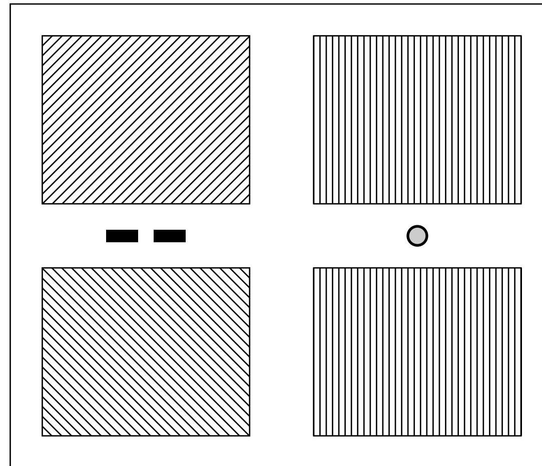


**FIGURA 2-10** El posefecto de inclinación

En primer lugar, adviértase que los modelos de la derecha son verticales e idénticos. Ahora, adapte sus neuronas visuales a los modelos de la izquierda, con el punto de fijación visual en cada una de las barras negras situadas entre los dos modelos. Lentamente, pase de una a otra de esas dos barras unas 20 veces. Inmediatamente después, mueva los ojos al círculo situado entre los dos modelos de la derecha. Fíjese en que los modelos ya no parecen perfectamente verticales, sino que parecen inclinarse. La inclinación ilusoria que ve está en la dirección opuesta de la inclinación a la que se había adaptado, de modo que el modelo superior parecerá inclinado hacia la izquierda y inferior hacia la derecha.

al movimiento —pérdida de la capacidad para ver moverse los objetos (Zihl *et al.*, 1983)—. Los que la padecen dicen que perciben un conjunto de imágenes estáticas. Tienen dificultades para emitir juicios sobre objetos en movimiento: ¿Cuándo me alcanzará ese coche en movimiento?, ¿cuándo he de dejar de verter agua del vaso?

Otros estudios de EMT han encontrado una región especializada en la percepción del color. Por otra parte, el daño cerebral en esta zona específica de la corteza extraestriada, V4, causa **acromatopsia**, ceguera cortical al color (Zeki, 1990). Se pierde toda la visión en color y el mundo se ve en tonos grises. Y en la acromatopsia, al contrario que en la ceguera debida a lesión en los ojos o en el nervio óptico, incluso se pierde la memoria del color.

La existencia de estas áreas especializadas sugiere que la percepción comienza descomponiendo la escena visual en características que se procesan por separado.

## 3.2. Unir todo: qué es lo que cuenta y lo que no

Antes señalamos que el mundo no tiene la apariencia de un conjunto de valores de luminosidad (como la Figura 2-5). Ni tampoco de un conjunto de características visuales tales como orientación, movimiento, etc. Vemos un mundo de objetos y superficies. Todos estos objetos y superficies que percibimos representan nuestras mejores suposiciones sobre el significado de las propiedades visuales particulares que estamos viendo justo en ese momento. Una amplia serie de reglas rige los complejos procesos mediante los cuales deducimos el contenido del mundo visual. En los siguientes apartados se ofrecerán unos cuantos ejemplos ilustrativos.

### 3.2.1. Principios de agrupamiento

Para comenzar, el sistema debe determinar qué características van juntas (Gerlach *et al.*, 2005). ¿Qué características forman parte del mismo objeto o superficie? En Alemania, a principios del siglo XX un grupo de investigadores conocidos de forma colectiva como psicólogos de Gestalt (*Gestalt* es la palabra alemana para designar forma o figura) comenzó a descubrir parte de los **principios de agrupamiento** que guían al sistema visual y producen nuestra percepción de qué va con qué. Algunos de ellos se representan en la Figura 2-11. La Figura 2-11a es un conjunto 4 × 4 de puntos idénticos, uniformemente espaciados. En la Figura 2-11b, el efecto de *proximidad*, uno de los principios de agrupamiento más básicos, agrupa esos puntos en filas ya que, al ser todos iguales, es más probable que se agrupen juntas —esto es, que se perciban como un todo— las cosas que están más cerca unas de otras que aquellas que se están separadas (Chen y Wan, 2002; Kubovy y Wagemans, 1995; Kubovy *et al.*, 1998). La Figura 2-11c muestra qué ocurre cuando no todo es igual. Aquí, el principio de *conectividad uniforme* forma una organización vertical que ignora la proximidad. Otros principios, representados en las Figuras 2-11d y f, incluyen propiedades que derivan de la topología (por ejemplo ¿tiene un «agujero» un elemento? Chen *et al.*, 2002).

En el centro de la Figura 2-12a se puede ver un anillo con forma de patata, formado por segmentos lineales que se agrupan. ¿Por qué se agrupan esas líneas mientras que las demás no? Aquí el principio es la *coalineación*: las líneas se agrupan cuando su orientación es parecida a las de sus vecinas. La coalineación es un caso particular de la *capacidad de ser relacionado* (Kellman y Shipley, 1991). La idea básica de la capacidad de ser relacionado se evidencia en la Figura 2-12b. Si la línea 1 forma parte de un contorno que se extiende en el espacio, ¿cuál de las otras líneas próximas a ella

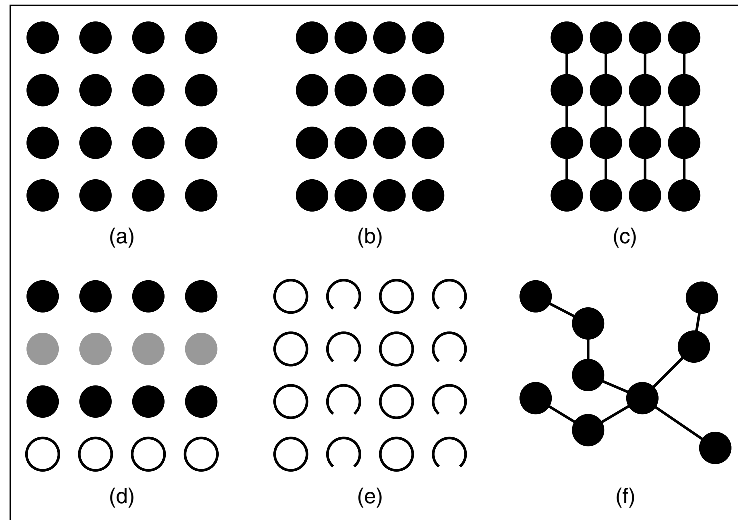



**FIGURA 2-11** Agrupamiento por proximidad y semejanza

(a) Una matriz 4 × 4 de puntos idénticos y regularmente espaciados. (b) Los puntos se encuentran más próximos en sentido horizontal que en sentido vertical, de modo que se agrupan en filas por *proximidad*. (c) Los puntos unidos se agrupan como columnas siguiendo la *conectividad uniforme*, que ignora la proximidad. (d) Los puntos pueden agruparse por *semejanza* de color o de otro atributo, como un agujero, formando aquí filas. (e) El *cierre* o *terminación de líneas* agrupa estos puntos en columnas. (f) La *continuación correcta* agrupa estos puntos en dos líneas que se entrecruzan como las estaciones de un mapa de metro.

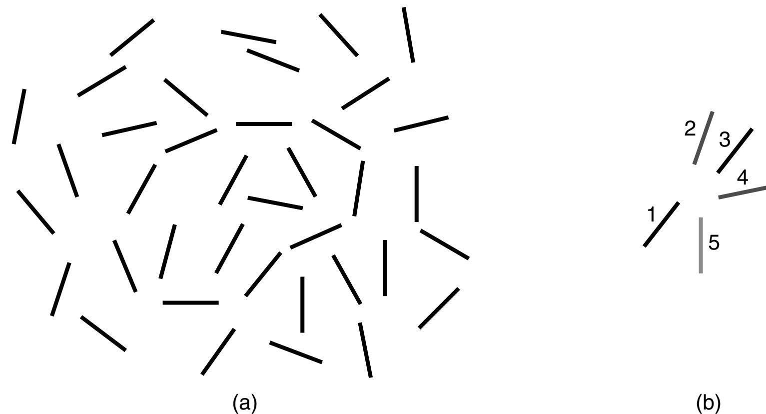



**FIGURA 2-12** Agrupamiento por coalineación y por capacidad de ser relacionado

(a) Algunas de estas líneas dentro de esta disposición dispersa forman una figura con forma de patata. Las líneas se agrupan si su orientación es parecida a la de una próxima (*coalineación*) y si es fácil conectar una línea con la siguiente (*capacidad de ser relacionado*). (b) Si la línea 1 forma parte de un contorno que se extiende en el espacio, ¿cuál de las otras líneas es probable que forme parte del mismo contorno?

es probable que forme parte del mismo contorno? La línea 3 es una buena apuesta. Es posible que sean las líneas 2 y 4. Es poco probable que sea la línea 5. Las neuronas que detectan cada línea o borde con una determinada orientación en la imagen, intervienen asimismo calculando la extensión de dicho borde en las partes vecinas de la imagen. La «patata» de la Figura 2-12a es el resultado de un cálculo realizado por un conjunto de estos detectores de características. El agrupamiento que ocurre entre los segmentos lineales relaciona partes que probablemente pertenecen al mismo contorno y así nos ayuda a pasar de la información sobre un borde local a información relativa a la forma de los objetos.

### 3.2.2. Rellenar lagunas

Los principios de agrupamiento se mantienen incluso cuando sólo pueden verse partes del objeto, lo que es muy útil para dar sentido a la confusión que producen los estímulos en la vida real. Con las pistas apropiadas, algo que no se encuentra presente en un momento dado se puede interpretar como algo que sí lo está, pero que está oculto —lo que significa una gran diferencia para nuestra percepción, y reconocimiento, de los objetos—. En la Figura 2-13a se presenta una mezcolanza de formas aparentemente inconexas. Si se trazan entre ellas barras horizontales, como en la Figura 2-13b, las formas se hacen coherentes convirtiéndose en formas reconocibles (Bregman, 1981). La capacidad de ser relacionado de los bordes de las formas, en sí mismos, no son suficientes para sugerir cómo deberían conectarse; pero cuando se añaden barras surge la posibilidad de una nueva interpretación. Las barras ponen de manifiesto que las áreas blancas de la Figura 2-13a pueden percibirse, no como zonas vacías, sino como elementos ocultos, u *ocluídos*, de lo que se expone. Con esta información adicional, pueden relacionarse los bordes visibles y se pueden deducir las formas, interpretándolo como partes visibles de formas más grandes. Este ejemplo demuestra que los procesos perceptivos nos pueden ayudar a rellenar lagunas para sacar

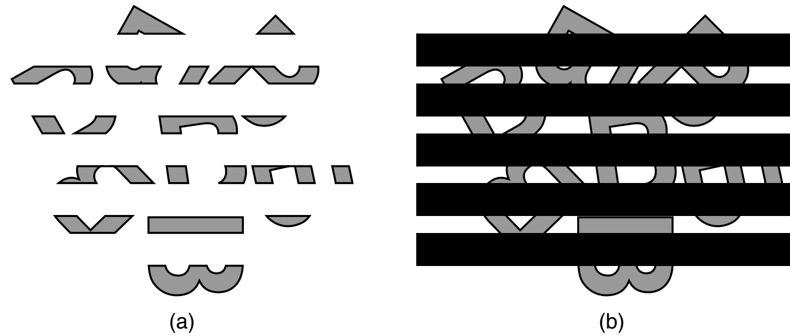



**FIGURA 2-13** Unir las partes

(a) Formas y fragmentos sin significado aparente. (b) Los mismos fragmentos presentados con unas barras negras que los «tapan». Ahora, pueden verse las formas («B») debido a que se pueden conectar las piezas
(Adaptado de Bregman, A. S. (1981). Asking the «what for» question in auditory perception. In Michael Kubovy, James R. Pomerantz (eds). *Perceptual Organization*. Mahwah, NJ: Laurence Erlbaum Associates, pp. 99-118. Reproducido con autorización)

la conclusión de un mundo visual coherente, incluso cuando no se dispone de toda la información.

Un procesamiento semejante también nos puede llevar a ver cosas que de hecho no existen. Si se coloca un rectángulo negro atravesando los dos rectángulos blancos de la Figura 2-14a, deducimos que sólo existe una barra blanca, la cual continúa bajo el rectángulo que la ocluye (Figura 2-14b). ¿Por qué entabla nuestro cerebro este tipo de procesamiento? Porque es improbable que dos rectángulos blancos y uno negro se alineen sólo para producir la Figura 2-14b, pero es probable que una superficie (el rectángulo negro) pueda ocultar otra (la supuesta barra blanca larga) (Shimojo *et al.*, 1988).

Las cosas se ponen un poco más interesantes en la Figura 2-14c. En este caso, los extremos abiertos de los dos rectángulos blancos sugieren que dicha figura está ocluida por una superficie blanca invisible. Si se dan algunos datos más sobre esta superficie, como sucede en la Figura 2-14d, la vemos, aunque no tenga un contorno físico. La delimitación de esta superficie invisible se denomina **contorno subjetivo** o **ilusorio**, un contorno que no está presente físicamente en el estímulo pero que es completado por el sistema visual (Kanizsa, 1979). Es muy poco probable que cada uno de los cuatro rectángulos y las cuatro líneas acabaran en un perfecto alineamiento en el mismo punto; lo es mucho más que todos ellos estén ocluidos por una forma que se encuentra delante de ellos. Los procesos perceptivos se basan en la interpretación más probable. Los contornos ilusorios que vemos son el resultado de la puesta en marcha de nuestros procesos perceptivos. El hecho de completar las piezas perdidas aporta información de interés que no existe en el estímulo sensitivo.

La investigación neurocientífica ha descubierto los mecanismos que completan los contornos perdidos. Las neuronas de la corteza visual primaria responden a la localización y la orientación de los bordes en el mundo sensorial. Las conexiones entre diferentes neuronas que responden a los bordes con diferentes orientaciones les permite comparar su *input*. Utilizando algunos circuitos sencillos, las neuronas que responden a los bordes reales inducen respuestas en las neuronas vecinas (Francis y Grossberg, 1996). El resultado final es que las neuronas responden a bordes ilusorios de un modo similar a como responden a una línea real en el mismo espacio (Bakin *et al.*, 2000;

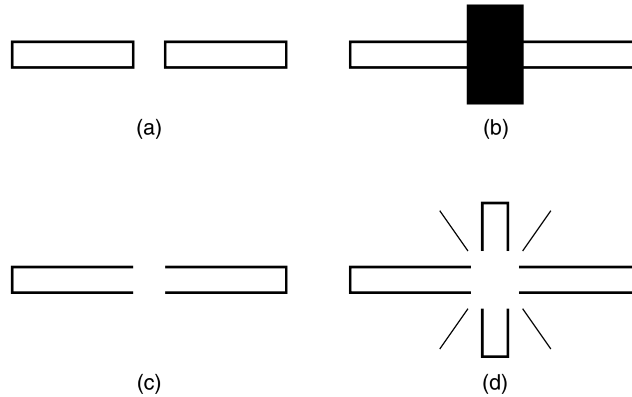



**FIGURA 2-14** Contornos ilusorios

(a) Dos rectángulos blancos. (b) Se añade un rectángulo negro. La interpretación cambia ahora de modo que la figura parece un rectángulo alargado en vez de dos cortos. El rectángulo negro se ve como algo que oculta parte de un único rectángulo blanco. (c) Los dos rectángulos blancos tienen extremos abiertos. De nuevo, puede interpretarse como un rectángulo blanco alargado parcialmente oculto por una forma invisible. (d) Al añadir más líneas, el rectángulo invisible se hace visible: se ve un contorno «ilusorio» o «subjetivo».

Grossof *et al.*, 1993; Suguita, 1999). La percepción de la línea ilusoria se basa en la interacción entre neuronas vecinas de la corteza visual primaria. La construcción de la percepción a partir de indicios dispersos en el entorno se establece en las primeras etapas del procesamiento de la información.

### 3.2.3. El problema del ligamiento

Los ejemplos considerados hasta ahora se han dedicado al agrupamiento del mismo tipo de características —¿va la línea 1 con la línea 2?, ¿qué ocurre cuando necesitamos precisar si a la línea 1 le corresponde el color A?—. Esta pregunta ilustra el **problema del ligamiento**[5]; esto es, ¿cómo asociamos características diferentes, por ejemplo, forma, color y orientación, de forma que percibamos un único objeto? El problema del ligamiento surge en parte debido al modo en que se lleva a cabo el procesamiento de la información en el cerebro, donde un sistema analiza el color, otro la forma y otro el movimiento. ¿Cómo combinamos esta información de manera que vemos una bola roja volando por el aire? Parte de la respuesta es que la localización espacial puede servir como el «pegamento» adecuado. Si la calidad de redondo, la calidad de rojo y el movimiento en una dirección determinada ocupan todos ellos el mismo punto en el espacio al mismo tiempo, parece razonable que estuvieran ligados entre sí. No obstante, la utilidad de la mera manifestación espacial simultánea es limitada. Busque el lector la barra vertical blanca (o la horizontal gris) en la Figura 2-15; no las encontrará fácilmente. Hasta que no preste atención a un signo «más» específico en el modelo, no podrá decir si lo gris está asociado o no con lo vertical (Wolfe *et al.*, 1990). Aun cuando muchos procesos de agrupamiento pueden ocurrir al mismo tiempo dentro del campo visual, algunos —especialmente los que ligan diferentes tipos de características al mismo objeto— requieren atención (Treisman, 1996).

[5] También conocido como problema de la integración. *(N. del T.)*.

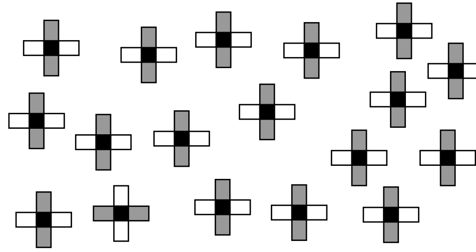


**FIGURA 2-15** Una demostración del problema del ligamiento

Busque la barra blanca vertical (o la barra gris horizontal). Todos los signos más están formados por barras verticales y horizontales que son *o bien* blancas *o bien* grises. Hay que mirarlos con atención uno por uno para determinar si el color gris va con la línea vertical o con la horizontal.



### *Control de comprensión*



1. ¿Cuáles son algunos de los elementos de construcción de la percepción visual?
2. ¿Qué principios sigue el cerebro cuando lo une todo?

## 4 Conseguir el reconocimiento visual: ¿le he visto antes?

Para entender el mundo, no basta con la información visual. El oso de Teseo es el símbolo del problema del reconocimiento, que es comparar la información visual presente (grande, redondo, oscuro, de bordes ásperos) con el conocimiento del mundo. (Un objeto que se ha visto previamente tiene una forma y un color determinados, un arbusto tiene otra forma, otro color.) El **reconocimiento** es el proceso de emparejar representaciones de un *input* sensitivo organizado con representaciones almacenadas en la memoria. Determinar qué es lo que hay ahí fuera en el mundo —y reaccionar ante ello de forma eficiente y segura si resulta ser un oso— depende de nuestra capacidad para encontrar una correspondencia entre el *input* procedente de nuestros ojos en ese momento y el *input* anterior que hemos organizado y almacenado en la memoria.

### 4.1. Un cerebro que no puede reconocer

La mayor parte del tiempo ni siquiera pensamos en lo que significa reconocer los objetos. Las personas con visión normal miran en una habitación y ven las sillas, las mesas, los libros y los adornos que allí puede haber y saben básicamente lo que son esas cosas, rápidamente y sin esfuerzo. Los ciegos reconocen los objetos mediante el tacto o el sonido. El reconocimiento no depende de una modalidad sensitiva determinada. Sin embargo, hay personas que no tienen una anomalía sensitiva pero no pueden reconocer fácilmente los objetos que les rodean. Este trastorno, que se llama **agnosia** (literalmente, «falta de conocimiento»), se debe a una lesión del cerebro, no de los órganos de los sentidos. Cuando la vista no está afectada y aun así falla el reconocimiento, el trastorno se denomina *agnosia visual*. La experiencia de un paciente,

llamado J., sirve de ejemplo de la causa y los efectos de la agnosia visual (Humphreys y Riddoch, 1987).

J., que creció en Inglaterra, fue piloto durante la II Guerra Mundial. Después de la guerra se casó y trabajó para una compañía que fabricaba ventanas para casas, llegando a ser el responsable de *marketing* en la región de Europa. Tras una intervención quirúrgica de urgencia debido a una perforación del apéndice, sufrió un accidente cerebrovascular. Un pequeño coágulo sanguíneo llegó hasta el cerebro, bloqueando las arterias que irrigan el tejido del lóbulo occipital. Después de este ictus, aunque era perfectamente capaz de distinguir las formas de los objetos que le rodeaban y orientarse en su habitación, J. no podía reconocer los objetos. No sabía cómo se llamaban ni para qué servían. No podía leer. Incluso después de haberse recuperado de la intervención y haber vuelto a su casa, no recuperó por completo su capacidad de reconocer objetos. Incluso tenía dificultades para reconocer a su esposa.

Cuando se le enseñó un dibujo de una zanahoria (Figura 2-16a), J. comentó: «No tengo la más mínima idea de lo que es. El extremo de abajo parece sólido y el otro tiene plumas. No parece lógico, a no ser que sea algún tipo de arbusto». Cuando se le enseñó el dibujo de una cebolla (Figura 2-16b), dijo: «En este momento estoy absolutamente perdido... tiene puntas agudas en la parte de abajo, como un tenedor. Podría ser un collar de algún tipo». Después de que se le mostrara una serie de dibujos parecidos a éstos, J. reconoció poco más de la mitad. Tenía más capacidad para dar nombre a objetos reales que a dibujos, pero aun así sólo denominó correctamente dos tercios de los objetos que se le mostraron, incluso si eran objetos de uso frecuente tales como un libro una manzana. Cuando se le pidió que dijera el nombre de los mismos objetos reconociéndolos por el tacto, la capacidad de reconocimiento de J. fue mucho mejor, lo que demostró que no tenía un problema generalizado para entender o decir el nombre de los objetos, sino más bien una dificultad selectiva de reconocimiento visual.

Un aspecto a destacar de la experiencia de J. es que su anomalía no incluía un fallo en la detección de características o grupos. A partir de su descripción de los objetos que se acaba de citar, es evidente que podía ver con exactitud características tales como extremos puntiagudos y formas. Además, tenía un rendimiento francamente bueno copiando dibujos e incluso dibujando objetos de memoria (aunque no reconocía lo que dibujaba). Lo que J. había perdido desde su accidente cerebrovascular era la capacidad de tomar la información visual organizada a la que tenía acceso y emparejarla con su memoria visual de los objetos. El deterioro selectivo que produce la ag-

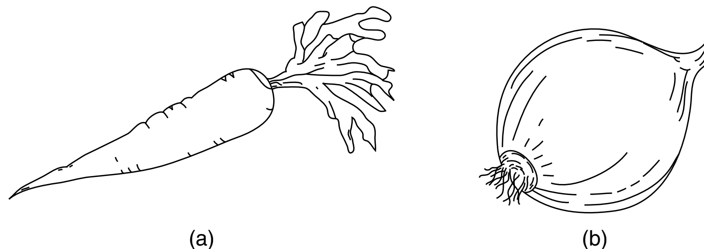



**FIGURA 2-16** ¿Sabe usted qué es esto?

A un paciente con agnosia visual le cuesta identificar estos dibujos.

(De Huttenlocher, P. R. (1993). Morphometric study of human cerebral cortex development. Chapter in M. H. Johnson (ed). *Brain Development and Cognition*. Basil Blackwell Ltd. Oxford UK. pp 112-124. Reproducido con autorización.)

nosia visual demuestra que existen al menos algunos procesos utilizados para el reconocimiento visual que no se utilizan para obtener u organizar las características visuales.

## 4.2. Modelos de reconocimiento

El reconocimiento es algo que nos parece natural cuando nos movemos en el mundo. Pero incluso para un cerebro intacto, el reconocimiento no es un acto trivial. Sigue siendo algo extremadamente difícil hasta para los programas de ordenador más sofisticados. El trabajo dedicado a poner a punto sistemas y modelos de reconocimiento informáticos mediante los cuales se consigue el reconocimiento, ha llevado a notables avances durante los últimos veinte años en nuestro saber acerca de los sistemas de reconocimiento humanos.

Tanto los ordenadores como los cerebros se enfrentan a retos importantes en el esfuerzo para reconocer objetos. Uno es la **dependencia del punto de vista**: un objeto se puede ver desde una combinación infinita de ángulos y distancias posibles. Cada uno de éstos proyecta una imagen bidimensional ligeramente diferente en un plano (y en la retina), que varía de tamaño, orientación o en ambos aspectos. El reconocimiento de un objeto visto desde ángulos diferentes presenta un reto particular: la imagen bidimensional proyectada de *cada parte tridimensional* (por ejemplo, el asiento y las diversas patas de una silla) cambia de tamaño, apariencia y posición en función de su rotación (Figura 2-17), pese a ello nos cuesta poco reconocer el objeto como una silla. Este reto es muy parecido a uno de los problemas fundamentales de la percepción que se discutió antes, a saber: que el *input* sensitivo no contiene información suficiente.

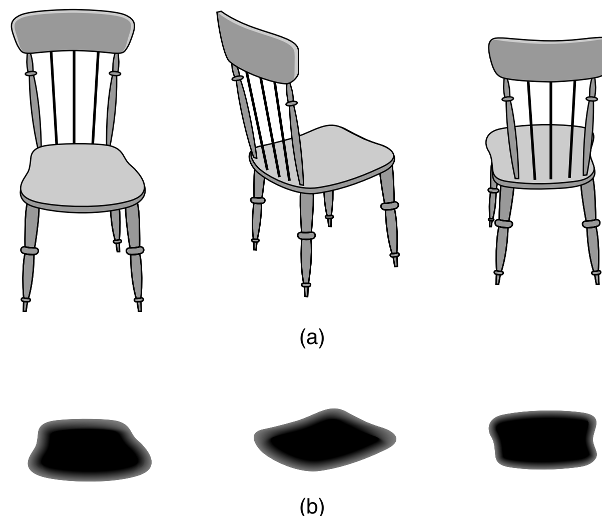



**FIGURA 2-17** Diferentes puntos de vista

(a) Una silla normal vista desde diferentes ángulos proyecta una imagen en la que las partes varían de tamaño y forma. (b) Puede parecer que las tres manchas negras no tienen la misma forma, pero tienen la misma forma que los asientos de las sillas representadas en (a). El asiento de la silla proyecta una forma muy diferente según el ángulo desde el que se mire. Para reconocer que la silla es la misma silla vista desde diferentes perspectivas, se han de descartar estos cambios en la imagen y obtener la forma tridimensional del objeto.

Todo lo que se encuentra disponible desde cualquier punto de vista es una proyección bidimensional, de modo que ¿cómo podemos determinar la estructura tridimensional del objeto?

Luego está el reto de la **variación del ejemplar**: existen muchos casos diferentes para cada categoría de objeto. (La silla de la Figura 2-17 no es la única silla que existe en el mundo.) Cualquier categoría de objeto se compone de muchos ejemplos posibles, sin embargo podemos reconocer con facilidad sillas del comedor, sillas de playa, sillas de oficina y sillas de diseño bajo el común denominador de sillas. Este reto es muy parecido a otro problema fundamental, antes discutido, a saber: que el *input* sensitivo contiene demasiada información. ¿Cómo puede un ordenador (y cómo podemos nosotros) manejar esta profusión de datos? Una solución pudiera ser almacenar cada una de estas vistas y cada uno de estos ejemplos de sillas como una representación independiente, pero esto haría difícil generalizar nuestra percepción de los objetos a nuevas vistas o ejemplos. Otro modo podría ser aprovechar las regularidades y redundancias del mundo identificando las características sobresalientes o su estructura subyacente —en otras palabras, las características distintivas de una «silla» para ser capaz de emparejar eficazmente el *input* sensitivo con las representaciones almacenadas de los objetos. Saber cómo están diseñados los sistemas de ordenador para resolver estos problemas de reconocimiento nos puede ayudar a entender cómo el cerebro humano puede realizar la misma proeza.

Se han propuesto cuatro tipos de modelos, cada uno con un diferente enfoque para resolver los retos del reconocimiento. Los *modelos de coincidencia con una plantilla*, emparejan la totalidad de la imagen con una representación almacenada de la totalidad del objeto. Los *modelos de coincidencia de características* extraen las características importantes o distintivas de la imagen y las emparejan con las características conocidas del objeto. El *modelo de reconocimiento por componentes* representa la estructura tridimensional de los objetos especificando sus partes y las relaciones espaciales entre dichas partes. Los *modelos de configuración* distinguen entre objetos que comparten las mismas partes básicas y la misma estructura global codificando cada ejemplar según cuánto se desvía del objeto habitual o prototipo. Cada modelo tiene ventajas y desventajas que lo hacen apropiado para el reconocimiento de algunos objetos y no de otros. Es muy posible que el sistema de reconocimiento humano utilice múltiples conjuntos de representaciones y de procesos, los cuales pueden ser más o menos eficaces para diferentes tipos de objeto.

### 4.2.1. Modelos de coincidencia con una plantilla

Una **plantilla** es un modelo, como un molde de galletas o un calco. Se puede utilizar para comparar elementos individuales con uno prototipo. Una remesa de galletas se puede comparar con el molde de las galletas; una galleta rota se rechaza (o se come inmediatamente) debido a que no se ajusta a las especificaciones de la plantilla del molde. El método de coincidencia con una plantilla tal como se concibió inicialmente es directo y útil mientras que el elemento que ha de reconocerse y la plantilla con la cual lo compara el sistema sean casi idénticos y diferentes de otros. Sin embargo, los modelos que se basan en la idea tradicional de una plantilla no pueden acomodarse a variaciones del tamaño o la orientación del objeto —variaciones que, como se ha visto, ocurren en la vida sensorial—. Una plantilla que cumpla su trabajo rechazará tales versiones aparentemente distintas.

Sin embargo, los modelos de coincidencia con una plantilla que se utilizan en los programas de ordenador modernos son más sofisticados y flexibles. Estos modelos ajustan una imagen escaneada, transformando su tamaño y rotación, estirándola y deformándola, para proporcionar una vista que sea la que mejor encaja con la plantilla. La coincidencia con una plantilla es el método que se utiliza para reconocer los códigos de barras y las huellas dactilares. Cuando el objeto que se ha de identificar está bien definido y es único, la coincidencia con una plantilla es un método rápido y fiable.

Así es como lo hacen habitualmente los ordenadores. De modo parecido, los seres humanos y otros animales pueden utilizar las representaciones de los objetos almacenadas en la memoria como plantillas para ajustarlas con el *input* sensitivo con el fin de reconocer los objetos. En teoría, se podrían reconocer las letras del alfabeto comparando las formas que se ven con los recuerdos de la forma de cada letra del alfabeto hasta encontrar una que coincida (Figura 2-18a). Este método podría funcionar razonablemente bien con texto impreso ya que, aunque los tipos de letra difieran, cada estilo de letra tiene un diseño característico que es idéntico cada vez que dicha letra

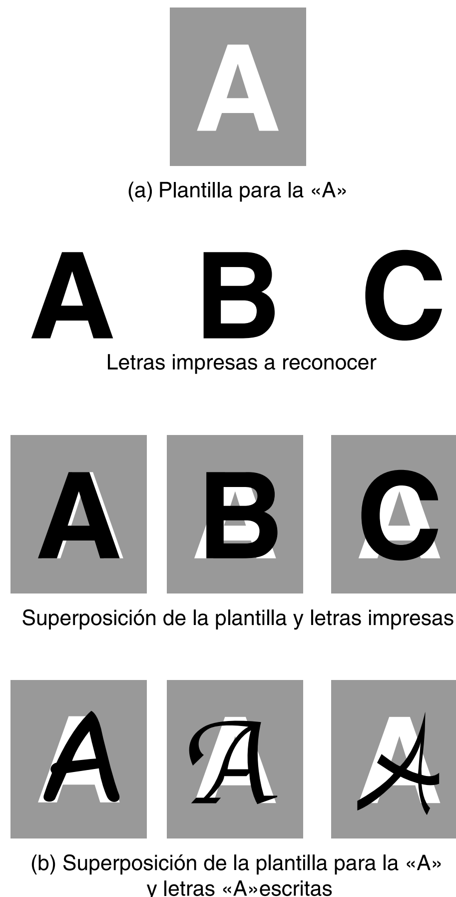



**FIGURA 2-18** Un modelo del reconocimiento por coincidencia con una plantilla

(a) En la parte superior se presenta una posible plantilla para el reconocimiento de la letra «A». En la línea siguiente, letras impresas a reconocer. En la tercera, la superposición de la plantilla con cada letra impresa. Obsérvese que la superposición con la letra «A» es perfecta pero que las otras letras no encajan bien. (b) Cuando se utilizó la misma plantilla para reconocer letras escritas el ajuste es malo, incluso en el caso de que todas ellas sean la letra «A».

aparece. Pero la mayor desventaja del método de coincidencia con una plantilla es que el reconocimiento suele requerir una gran flexibilidad: piense en la gran variedad de letras manuscritas de una persona a otra y en diferentes circunstancias. Ninguna plantilla rígida encajaría fidedignamente con todos los tipos de letra «A», en unas ocasiones garabateada en una nota precipitada y en otras escrita con cuidado (Figura 2-18b). Determinados programas de ordenador diseñados para reconocer la letra manuscrita utilizan plantillas flexibles con algoritmos que tienen en cuenta factores tales como la dirección de los trazos del lápiz y el contexto de la palabra. Se consigue aun más flexibilidad con plantillas que se construyen a partir de una jerarquía de componentes de la plantilla, cada uno de los cuales detecta una parte del modelo que interesa. Los ordenadores emplean plantillas jerárquicas flexibles para reconocer personas a partir de el modelo único del iris del ojo (Daugman, 1993). Todavía no está claro si, o en qué circunstancias, el cerebro humano utiliza representaciones almacenadas como plantillas para reconocer los objetos.

### 4.2.2. Modelos de coincidencia de características

En algunas circunstancias, un reconocimiento exacto no requiere que se especifique por completo todo el objeto, tan sólo algunas de sus «características» distintivas. Repárese en que aquí estamos utilizando el término *características* en un sentido más general que en la exposición de, por ejemplo, los bordes y los colores; de modo que el término puede referirse a cualquier atributo que distinga un objeto de otros. ¿Cómo podemos saber que lo que estamos viendo es un árbol? No sabemos la localización exacta de las ramas ni las dimensiones del tronco, pero eso no tiene importancia: si podemos decidir que el elemento que tiene esas dos características —tronco y ramas—, es un árbol.

Los modelos de coincidencia de características buscan caracteres simples pero propios de un objeto; su existencia indica que pueden emparejarse. ¿Qué constituye una característica de estos modelos? Eso depende del tipo de objeto. La primera etapa del análisis visual detecta los bordes y los colores; algunos modelos utilizan estos simples atributos como características: un modelo de coincidencia de características podría reconocer letras impresas con un conjunto limitado de características que son segmentos lineales de diferentes orientaciones y grados de curvatura. La letra «A» tiene tres de tales características: una línea inclinada a la izquierda, una línea inclinada a la derecha y una línea horizontal. Ninguna otra letra del alfabeto romano tiene esta combinación de características. El modelo detectaría estos segmentos lineales (y sólo estos) y la letra «A» se reconocería de modo exacto (Selfridge, 1955, 1959). Otros modelos requieren características más complejas: los modelos diseñados para el reconocimiento de rostros utilizan los ojos, la nariz y la boca como características; los modelos para el reconocimiento de animales se basan en la cabeza, el cuerpo, las patas y la cola. Este tipo de modelo es más flexible que los modelos de coincidencia con una plantilla, ya que será válido siempre y cuando existan las características, incluso si el objeto tiene partes que pueden ordenarse de otra manera. Los modelos de coincidencia de características pueden asimismo requerir menor espacio de almacenamiento que los modelos de plantilla debido a que relativamente pocas características harían que puedan reconocerse muchos objetos de la misma categoría que no son idénticos.

El enfoque de coincidencia de características asimismo se presta bien a la idea de que el procesamiento de la información en el cerebro se da en paralelo (esto es, ocurre

al mismo tiempo) y es distribuido (esto es, ocurre en diferentes áreas neurales). El cerebro es una red de neuronas interconectadas con componentes en gran parte interactivos, dispuestos en una jerarquía libre. Una arquitectura semejante, esquematizada en el modelo de red neural descrito en el capítulo 1 (véase Figura 1-13), se ha empleado para plantear modelos del reconocimiento de letras y palabras como un modelo de coincidencia de características como el que se presenta en la Figura 2-19. El reconocimiento se representa mediante un conjunto de elementos de procesamiento simples, las unidades de un modelo de red neural, que interactúan unos con otros a través de conexiones excitadoras e inhibidoras. Las conexiones excitadoras aumentan la actividad de una unidad, las conexiones inhibidoras la disminuyen. En un modelo de reconocimiento de letras, las unidades que representan diferentes segmentos lineales se conectan con unidades del siguiente nivel que representan letras. Una conexión es excitadora si la letra tiene la característica especificada mediante dicho segmento lineal, e inhibidora si no la tiene. Cuando la letra «A» se presenta a la red, los segmentos lineales inclinados a la derecha, inclinados a la izquierda y horizontales se activan

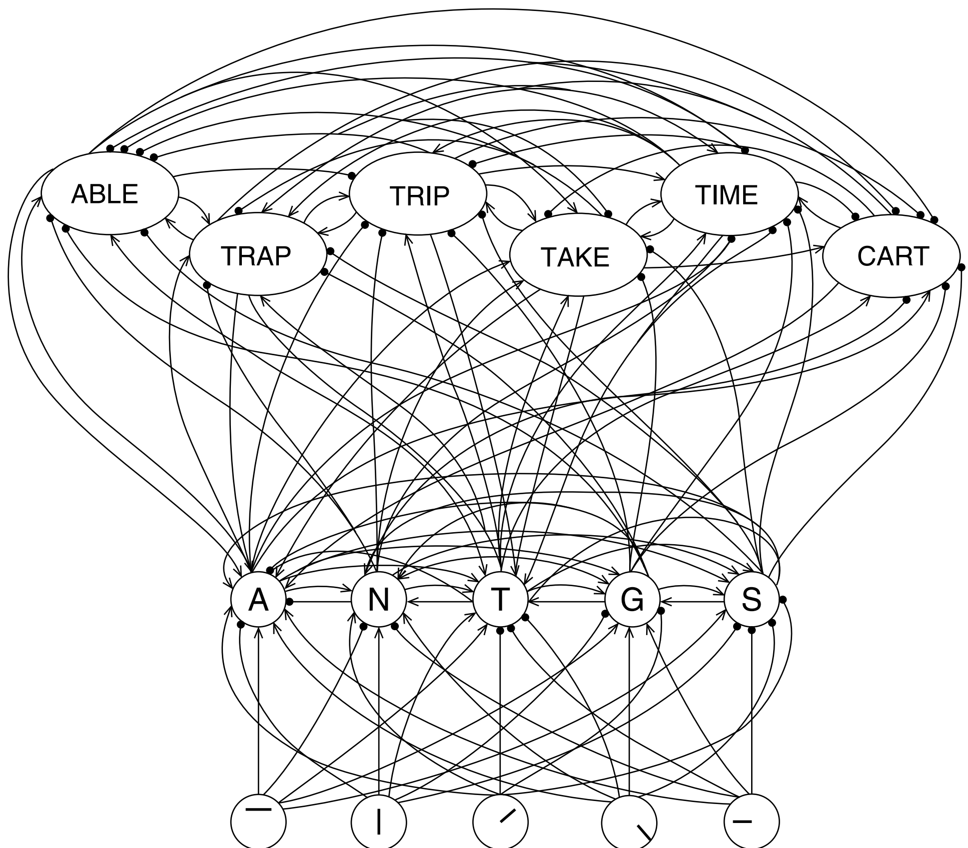



**FIGURA 2-19** Un modelo de red de características

Cada círculo es una unidad del modelo que puede corresponder a un grupo de neuronas del cerebro. Las líneas entre unidades muestran las conexiones entre ellas. Las conexiones son excitadoras (*puntas de flecha*) o inhibidoras (*puntos*). Cuando se presenta un estímulo a la red se excitan las unidades del nivel de característica en la fila inferior. Éstas influyen en la actividad de las unidades de letra (*fila central*), que a su vez influyen en las unidades de palabra (*fila superior*).

(Modificado de Rumelhart, D. E., McClelland, J. L. (1987). *Parallel Distributed Processing Explorations in the Microstructure of Cognition, Vol. 1: Foundations.* The MIT Press; Cambridge, MA. Reimpreso con autorización.)

y excitan a las unidades en el nivel de la letra que tienen dichas características. Algunas unidades de letras no tienen características adicionales más allá de las que tiene la «A», pero carecen de algunas que tiene la «A» (por ejemplo, ni la «V» ni la «X» tienen una línea horizontal); así pues estas unidades de letra se activarán sólo parcialmente. Otras unidades de letra comparten algunas de dichas características y tienen también otra característica (tanto la «K» como la «Y» tienen líneas inclinadas y también una línea vertical); éstas también se activarán sólo parcialmente. Únicamente la representación de la letra que coincida con todas las características se activará en grado máximo y seguirá influyendo en el reconocimiento en el siguiente nivel de la red, donde las unidades que representan letras individuales excitan o inhiben a unidades que representan palabras. Representando estas características en una red interactiva, distribuida, modelos como éste pueden reconocer cualquier objeto que tenga las características correctas.

Para que un modelo de coincidencia de características sea una explicación convincente de cómo reconocemos los objetos, las neuronas o las poblaciones neuronales deberían mostrar una respuesta selectiva a las partes del *input* que sean similares a las características del modelo. Mientras que existen muchas pruebas (*véase* el recuadro adjunto *Una visión más detenida*) a favor de que las neuronas de la corteza visual están sintonizadas con líneas con una inclinación y un grado de curvatura específicos (Ferster y Miller, 2000; Hubel y Wiesel, 1959), no se sabe si existen neuronas sintonizadas con letras o palabras específicas. Se ha encontrado selectividad para otras características tales como color, tamaño, textura y forma (Desimone *et al.*, 1984; Tanaka *et al.*, 1991). Se ha comprobado que hay incluso neuronas con respuesta selectiva ante características que son partes específicas del objeto, tales como los ojos en una cara (Perrett *et al.*, 1982) y pueden hacerse más selectivas para características específicas de los objetos con la experiencia. Los animales que son adiestrados para clasificar objetos como miembros de categorías diferentes (por ejemplo, decidir si un objeto es —utilizando términos humanos— un perro o un gato) tienen poblaciones neuronales que aumentan su selectividad para responder a aquellas características que distinguen mejor las categorías (en este caso, un cuello largo y un rabo corto) (Freedman *et al.*, 2001, 2002).

El hecho de que las neuronas respondan selectivamente a un conjunto de características diferentes puede sugerir que determinadas características que son importantes para el reconocimiento pueden variar con el nivel de detalle que se requiere en cada momento. En el estado de alta activación emocional descrita por Teseo —«En la oscuridad, imaginad algún temor»— un perfil borroso y una forma redondeada pueden ser suficiente para «reconocer» un oso. El hecho de que utilicemos la coincidencia de características en vez de la coincidencia con una plantilla puede depender también de lo difícil que sea verlo y el grado de detalle en que coincida el objeto con su representación pictórica «canónica» o tradicional. Por ejemplo, un petirrojo es un pájaro con una forma canónica y podría reconocerse mediante una plantilla mientras que un emú no es un pájaro típico y podría reconocerse por coincidencia de características (Kosslyn y Chabris, 1990; Laeng *et al.*, 1990). Parece ser que la coincidencia de características es un mecanismo de reconocimiento del que el cerebro puede valerse para reconocer categorías de objetos más que entidades individuales.

Uno de los principales problemas de los primeros modelos de características era que no podían distinguir objetos compuestos por las mismas características, pero dispuestas en una relación espacial distinta, por ejemplo, las letras «V» y «X». Sin em-

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

### Detectores de características visuales en el cerebro

Para no extendernos mucho no podemos describir detalladamente cada experimento, pero para tener una idea de la lógica de los experimentos resulta útil examinar los detalles de, al menos, un estudio citado en el texto. Con este propósito, vamos a analizar un experimento pionero, realizado por David Hubel y Torsten Wiesel (publicado en 1959 en «Receptive Fields of Single Neurons in the Cat's Striate Cortex», *Journal of Psychology*, 148, 574-591), que fue parte del trabajo por el cual ganaron dichos investigadores el Premio Nobel en Fisiología o Medicina en 1981.

**Introducción**

Los investigadores estaban interesados en saber cómo las neuronas de la corteza occipital podían dar cuenta de la percepción visual. ¿Qué tipos de elementos hacen que las neuronas respondan y cómo están organizadas las neuronas?

**Método**

Para examinar las respuestas de neuronas individuales, los investigadores implantaron un electrodo en neuronas del lóbulo occipital de gatos anestesiados. Mediante el registro del cambio de voltaje en los electrodos, registraron la actividad de cada neurona y pudieron determinar cuándo respondía la neurona. Para comprobar a qué tipos de elementos responderían las neuronas, hicieron que los gatos mirasen a una gran pantalla de proyección y a puntos de luz brillantes en la pantalla. Investigaciones anteriores habían utilizado con éxito este método para provocar respuestas específicas de los fotorreceptores y las células ganglionares del ojo y trazar un mapa de sus campos receptores. Los investigadores recurrieron al mismo método, pero registraron las respuestas de la corteza visual primaria del lóbulo occipital.

**Resultados**

A diferencia de las respuestas de los fotorreceptores y las células ganglionares, la mayoría de las neuronas de la corteza visual primaria no respondieron mucho cuando se le presentaron puntos de luz al gato. La luz difusa tampoco fue eficaz. En cambio, los investigadores descubrieron que las respuestas eran mucho más fuertes a barras o franjas de luz con una orientación específica. Por ejemplo, una neurona podía dar la mejor respuesta cuando se presentaba una franja de luz horizontal, mientras que otra respondería más cuando se mostraba una barra de luz vertical. Tras examinar muchas neuronas adyacentes del lóbulo occipital, descubrieron una organización regular de las respuestas neuronales. La orientación que provocaba la respuesta más fuerte en una neurona, también llamada la orientación «preferida», era sólo ligeramente diferente de la que producía el mismo efecto en una neurona vecina. A través de una fila de neuronas adyacentes, la orientación preferida variaba sistemáticamente cartografiando todas las orientaciones.

**Discusión**

El descubrimiento de que las neuronas de la corteza visual primaria respondían a barras con diferente orientación demuestra que estas neuronas realizan un análisis del mundo visual mucho más sofisticado que los fotorreceptores o las células ganglionares. Estas neuronas corticales pueden detectar líneas y podrían ser las que realizan la detección de los límites o bordes de los objetos.

bargo, los modelos modernos de ordenador codifican no sólo las características del objeto sino también las relaciones espaciales entre ellas. Así, la representación de una «V» podría incluir los extremos de las líneas después de encontrarse en el vértice de la base y la representación de una «X» incluiría la cualidad de intersección. Estos modelos más flexibles son bastante seguros para reconocer objetos de una categoría específica como letras y palabras manuscritas bidimensionales. Algunos modelos pueden, incluso, reconocer ejemplares de una categoría particular de objetos tridimensionales tales como rostros vistos desde una serie limitada de puntos de vista (Penev y Atick, 1996).

### 4.2.3. Modelo de reconocimiento por componentes

Aunque las plantillas y las características simples podrían servir para construir modelos de reconocimiento de objetos bidimensionales, no es fácil ver cómo pueden resolver los problemas inherentes al reconocimiento de objetos tridimensionales desde diferentes puntos de vista, o al reconocimiento de algunos objetos como diferentes ejemplares del mismo tipo de objeto. Quizás una pista de cómo resuelve el cerebro estos problemas es que podemos describir los objetos por sus partes y las relaciones espaciales entre dichas partes (Cave y Kosslyn, 1993; Laeng *et al.*, 1993). La utilidad de muchos objetos depende de la correcta disposición de sus partes (Figura 2-20). Para explicar nuestra capacidad de reconocer los objetos en las diversas condiciones en que se presentan en el mundo real, nos hace falta un modelo fundado en algo más

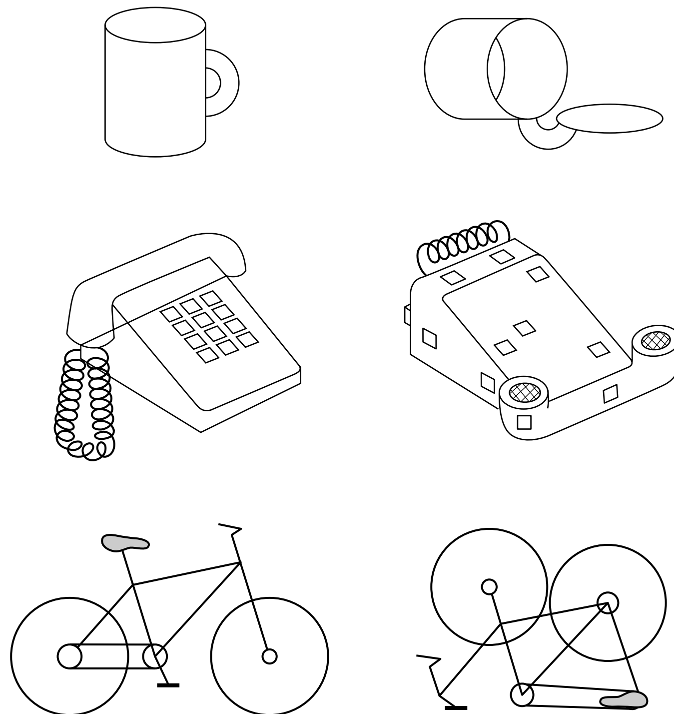


**FIGURA 2-20** Reconocimiento, disposición y utilidad

Se muestran tres objetos que pueden utilizarse en la práctica al lado de otros tres objetos compuestos con las mismas partes mezcladas de otra manera. La utilidad de muchos objetos depende de la correcta disposición de sus partes.

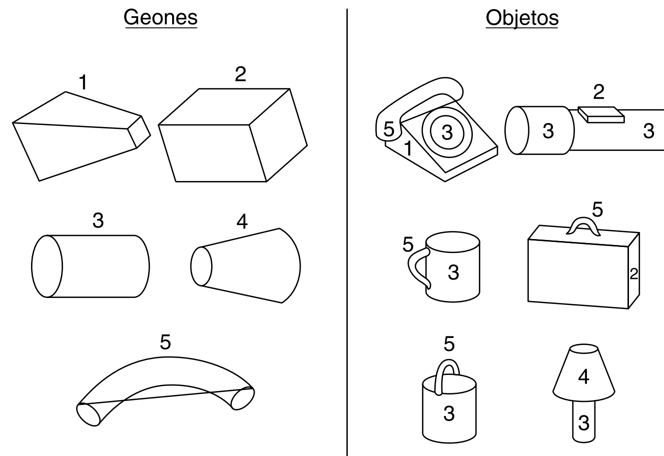



**FIGURA 21-21** Geones y objetos

(a) Cinco de los 24 geones y (b) objetos que muestran los geones que los componen.
(De Biederman, I. (1995). Visual Object Recognition. In S. M. Kosslyn y D. N. Osherson, *An Invitation to Cognitive Science, Vol 2: Visual Cognition*. The MIT Press; Cambridge, MA. Reproducido con autorización.)

flexible que una plantilla y que empareje la información estructural más allá de las características.

El modelo de reconocimiento por componentes (RPC) aporta un posible método para reconocer objetos tridimensionales pese a que varíen el punto de vista o los ejemplares (Bierderman, 1987). El modelo supone que cualquier objeto tridimensional se puede describir generalmente por sus partes y las relaciones espaciales entre ellas. El modelo actual propone que se puede utilizar un conjunto de 24 formas geométricas tridimensionales, tales como cilindros y conos, para representar prácticamente cualquier objeto; en la terminología del modelo, estas formas se denominan **geones** (Figura 2-21a) (Biederman, 1995). Además, han de definirse las relaciones espaciales entre los geones: un cono podría estar «en lo alto de» o «acoplado a» un cilindro. La mayoría de los objetos se pueden definir mediante una *descripción estructural*, esto es, describiendo sus componentes y sus relaciones espaciales. Un balde o cubo, por ejemplo, es un cuerpo cilíndrico con un asa curvada en su parte superior; una taza o tazón es un cuerpo cilíndrico con una varilla curvada en un lateral (Figura 2-21b). El modelo RPC detecta los geones y sus relaciones espaciales e intenta emparejar las partes que se han agrupado con una representación tridimensional almacenada de un objeto conocido (Hummel y Biederman, 1992).

Los geones son unidades útiles para describir los objetos debido a que sus propiedades no varían según la perspectiva (lo contrario a depender del punto de vista); es decir, están en la imagen independientemente de la dirección desde la cual se vea el objeto. Las propiedades que no varían según la perspectiva incluyen las líneas rectas, las esquinas y los vértices. Una línea recta, como el borde de un rectángulo, proyectará una línea recta en cualquier imagen en un plano bidimensional, independientemente de la perspectiva (como ocurre con las patas de la silla en la Figura 2-17). Cada geón se asocia con un conjunto de propiedades que no varían con la perspectiva, las cuales lo definen exclusivamente, diferenciándolo de otros geones. Así, la descripción estructural de un objeto es independiente de la perspectiva incluso cuando la forma que se percibe del objeto total cambia espectacularmente según las circunstancias en la que se ve.

Existen algunos datos a favor del modelo RPC. Los sujetos de estudios comportamentales pueden reconocer con facilidad cómo interpretar los geones de objetos manufacturados, lo que sugiere que estas representaciones simplificadas pueden tener cierta validez. También lo apoyan los estudios que se valen del *priming*[6] visual, el cual produce un reconocimiento más rápido que se observa cuando se ve el objeto por segunda vez. En general, el efecto de ***priming*** ocurre cuando un estímulo o una tarea facilita el procesamiento de un estímulo o tarea posterior —por decirlo así, el *priming* «engrasa la maquinaria»—. Utilizando esta técnica, Irving Biederman (1995) creó pares complementarios de imágenes de un objeto dado (supongamos, una linterna) con parte de su contorno borrado (Figura 2-22). Cada imagen de un par tenía la mitad del contorno del objeto completo y las dos imágenes no tenían en común una parte del contorno. Un segundo par de imágenes con el contorno borrado representaba el mismo objeto pero con un diseño diferente y, por lo tanto, descrito mediante geones diferentes. Se le mostró a los sujetos un miembro de uno de los pares, después o bien su pareja (construida con los mismos geones) o bien un miembro de otro par (el mismo objeto, pero descrito con diferentes geones). El reconocimiento fue más rápido cuando la segunda imagen que se mostró tenía los mismos geones que la primera.

Algunos datos indican que las neuronas de la corteza temporal inferior (esto es, en la parte de abajo) responden a propiedades que son independientes de la perspectiva (Vogels *et al.*, 2001), pero muchas neuronas responden a un objeto visto sólo desde una serie limitada de perspectivas, como, por ejemplo, una vista frontal de una cabeza pero no una vista lateral (Logothetis *et al.,* 1995; Perrett *et al.*, 1991). La observación de que muchas neuronas no logran generalizar todas las perspectivas posibles parece que va en contra de lo que predeciría el modelo RPC. Además, aunque la teoría RPC puede explicar el reconocimiento de los objetos manufacturados, no está tan claro cómo puede aplicarse al reconocimiento de los objetos naturales, tales como ani-

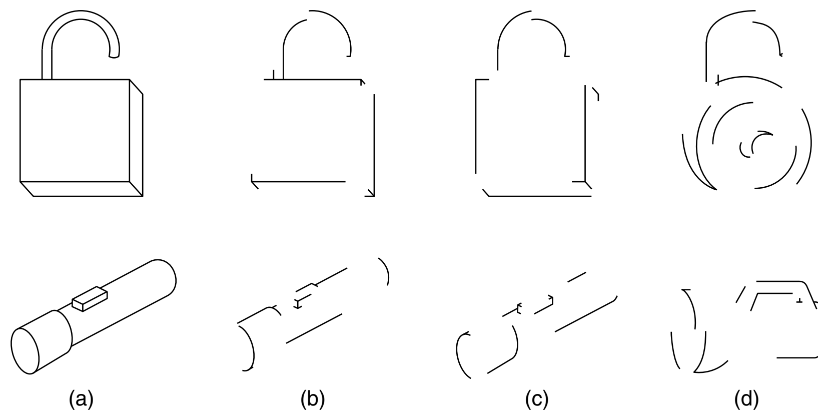



**FIGURA 2-22** *Priming* visual y reconocimiento

Dos objetos (a) completos, (b) con la mitad de su contorno eliminado y (c) con la otra mitad de su contorno eliminado. (d) Un ejemplo diferente del mismo tipo de objeto pero con diferentes geones (también aquí se ha eliminado la mitad del contorno). Para los sujetos fue más fácil reconocer los objetos cuando vieron (b) seguido de (c) que cuando vieron (b) y (d).

(De Biederman, I. (1995). Visual Object Recognition. In S. M. Kosslyn y D. N. Osherson, *An Invitation to Cognitive Science, Vol 2: Visual Cognition.* The MIT Press; Cambridge, MA. Reproducido con autorización.)

[6] Estimulación previa, preparación o sensibilización. *(N. del T.)*

males o plantas. Los rostros son un buen ejemplo del problema. Las caras incluyen generalmente dos ojos, una nariz y una boca en la misma disposición. El modelo RPC compondría la misma disposición de geones para *cada* cara y por tanto no detectaría diferencias individuales entre una cara y otra —que es cómo más frecuente, y más fácilmente, reconocemos a las personas—. Los modelos del tipo RPC pueden resultar adecuados para encontrar el nombre de categoría de un objeto que más se utiliza (taza, perro), pero presentan más dificultades a la hora de identificar un ejemplar específico (mi taza especial para el café o el caniche estándar de mi vecino).

### 4.2.4. Modelos de configuración

Los modelos de configuración a menudo pueden hacer frente a las limitaciones de los modelos RPC. Proponen que los objetos que comparten las mismas partes y una estructura común se reconocen por las relaciones espaciales entre dichas partes y *el grado en que esas relaciones espaciales se desvían del objeto prototipo o «medio»*. Los modelos de reconocimiento por la configuración ayudan a explicar cómo se reconocen diferentes ejemplares individuales de una categoría. Han sido especialmente útiles en el campo del reconocimiento facial (Diamond y Carey, 1986; Rhodes *et al.*, 1987).

En un modelo de configuración, una cara específica se describe basándose en lo que se aparta de una cara prototipo, definida por la proporción media cuantificada en una población. Todas las caras tendrían las mismas partes componentes con la misma disposición espacial, pero su tamaño y distancia relativa hacen que cada una sea única.

Diversos tipos de datos apoyan la teoría de la configuración en el reconocimiento facial. Para empezar, nuestro rendimiento es algo mejor reconociendo caricaturas de caras famosas, las cuales acentúan las diferencias con la cara prototipo en lugar de las líneas más verídicas de los dibujos. Este hallazgo sugiere que codificamos los rostros conforme a dichas desviaciones (Rhodes *et al.*, 1987). También hay estudios que demuestran que sujetos a quienes se les ha pedido mirar fijamente una cara particular y después una cara prototipo pueden experimentar brevemente un posefecto visual en el cual perciben la cara «opuesta» o «anticaricatura» de la cara original (Leopold *et al.*, 2001; Webster y MacLin, 1999; Webster *et al.*, 2004; Zhao y Chubb, 2001). Inténtelo el lector con la Figura 2-23.

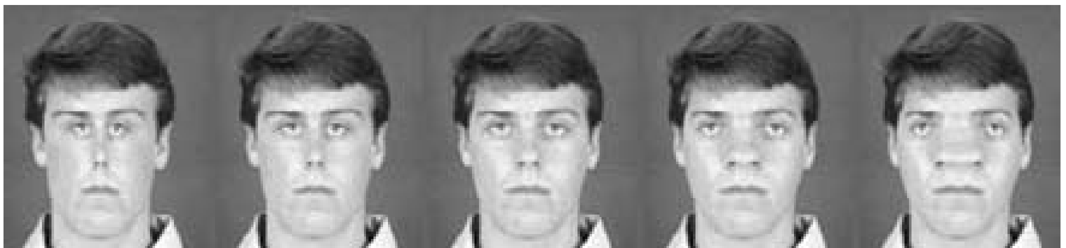


**FIGURA 2-23** Adaptación en la percepción de rostros

En primer lugar, obsérvese que la cara del centro tiene un aspecto normal. La cara en el extremo izquierdo tiene los rasgos demasiado próximos entre sí y la cara en el extremo derecho los tiene demasiado separados. Repárese en que la distancia entre los rasgos de la cara, como el espacio entre los ojos, tiene un fuerte impacto en nuestra percepción de la cara. Ahora, mírese fijamente la cara del extremo izquierdo durante 60 segundos. Cámbiese luego la mirada otra vez a la imagen del centro. Si se ha adaptado la visión durante el tiempo suficiente, la cara del centro parecerá ahora distorsionada del modo en el que lo parecería si los rasgos estuvieran muy separados. (Cortesía de Michael A. Webster y Paul Ekman, PhD.)

Diversos tipos de datos sugieren asimismo que solamente se procesan de esta forma especial las caras «boca arriba». Si se muestra a los sujetos una serie de imágenes de caras y objetos, su rendimiento es mejor en reconocer caras boca arriba que una serie de objetos diferentes boca arriba, pero peor en reconocer caras boca abajo que objetos invertidos (Yin, 1969). Otros estudios han demostrado que las caras invertidas, al igual que objetos que no son caras, se procesan paso a paso; mientras que las caras boca arriba —modo en el que se ven habitualmente en la vida real— producen un procesamiento más de configuración o global (Young *et al.*, 1987). Los sujetos tienen mejor rendimiento si se trata de aprender la diferencia entre dos caras boca arriba que sólo difieren en la forma de un único elemento, como la nariz, que de aprender la diferencia entre dos narices que se muestran por separado (Tanaka y Farah, 1993; Tanaka y Sengko, 1997). Además, aunque el contexto facial no aporte información adicional sobre la forma de la nariz, los sujetos rinden más codificando y recordando la forma de la nariz en el contexto de una cara boca arriba. Sin embargo, no se encontró tal beneficio del procesamiento holístico para caras invertidas. Aparentemente, también rendimos más evaluando la configuración global o las relaciones espaciales entre rasgos faciales, tales como la distancia entre los ojos o entre la nariz y los ojos, en caras boca arriba que en caras boca abajo (Searcy y Barlett, 1996).

La investigación neurocientífica también apoya el modelo de reconocimiento facial por configuración. Los registros de unidades individuales de neuronas del lóbulo temporal del mono que responden selectivamente a los rostros sugieren que muchas neuronas responden a la configuración de múltiples características más que a una única parte de la cara (Young y Yamane, 1992). En los seres humanos, el daño del área fusiforme de la cara, una parte del lóbulo temporal, produce el trastorno conocido como *prosopagnosia*, la incapacidad de reconocer caras diferentes. Esta alteración es específica; los pacientes no tienen problemas para reconocer que algo es una cara en vez de, digamos, una calabaza; pero les cuesta distinguir una cara de otra. Parece ser que les cuesta particularmente distinguir la configuración de partes de la cara, lo que apoya la idea de que el procesamiento de la configuración es importante para reconocer los rostros. El descubrimiento de un área del cerebro especializada en el reconocimiento facial ha encendido el debate entre los científicos que estudian el reconocimiento de los objetos, que se analiza en el recuadro *Debate*.

Una variante de este punto de vista es la *hipótesis de la experiencia*, que propone que se desarrolla un sistema neural especializado que permite una discriminación visual experta y que éste se requiere para juzgar diferencias sutiles dentro de cualquier categoría visual particular (Gauthier *et al.*, 2000). Probablemente, pasamos más tiempo mirando rostros que cualquier otro objeto. Somos expertos en caras —con un simple vistazo podemos procesar rápidamente la identidad, el sexo, la edad, la expresión emocional, la perspectiva y la dirección de la mirada de una cara—. Es posible que el sistema neural especializado de la circunvolución fusiforme sea responsable de cualquier proceso de reconocimiento en el que tengamos experiencia. Las investigaciones demuestran que, mientras miran dibujos de pájaros, los expertos en pájaros tienen una actividad más intensa en la circunvolución fusiforme que otras personas (Gauthier *et al.*, 2000).

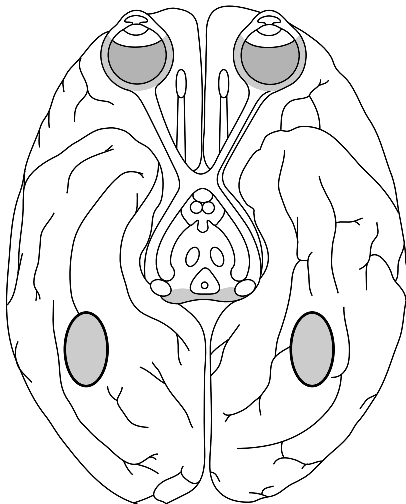
Un punto de vista contrario es que muchas —si no la mayoría— de las representaciones visuales se distribuye espacialmente a lo largo de la vía ventral. Quizá la corteza temporal ventral sirva a menudo de área de reconocimiento para todos los efectos para distinguir todos los tipos diferentes de objetos. De hecho, por lo general los pa-

DEBATE

## Un conjunto de bloques o el «juego de la cuna»[7]: ¿representaciones modulares o distribuidas?

Existen dos posibles diseños de la organización del sistema de reconocimiento visual en el cerebro humano. La organización puede ser *modular*, con sistemas especializados que procesan diferentes tipos de objetos, o *distribuida*, con un único sistema de reconocimiento con fines generales que representa todos los tipos de objeto. Los partidarios del enfoque modular opinan que la percepción de cualquier tipo de objeto dado se basa en un módulo neural especializado, esto es, un área específica del cerebro que se especializa en el reconocimiento de esa categoría de objetos particular. Citan investigaciones que sugieren la existencia de módulos especializados en la corteza temporal ventral, tales como un área facial especializada en reconocer caras boca arriba (Kanwisher *et al.*, 1997a) y un área de lugar especializada en reconocer la disposición espacial y las delimitaciones (Epstein y Kanwisher, 1998). No obstante, otras investigaciones argumentan en contra de la idea de que existen áreas especializadas para el reconocimiento de objetos (Haxby *et al.*, 2001) y otros investigadores proponen que nuestras representaciones de los objetos están distribuidas en una serie de áreas de la corteza temporal ventral.

Los estudios de neuroimagen en seres humanos han revelado que hay una región definida de la circunvolución fusiforme, el área fusiforme de la cara, que responde preferentemente a caras humanas boca arriba en comparación con una serie de estímulos de otro tipo (Kanwisher *et al.*, 1997a; McCarthy *et al.*, 1997). Sin embargo, esta región no sólo responde a caras humanas sino también a caras de animales y a caras representadas en dibujos animados. Por contraposición, esta región responde débilmente a objetos comunes, caras con rasgos mezclados, vistas posteriores de cabezas y a otras partes del cuerpo (Tong *et al.*, 2000). El daño cerebral en esta área se asocia con la prosopagnosia, el deterioro selectivo de la capacidad de reconocer caras (Farah *et al.*, 1995; Meadows, 1974). ¿Es posible que, simplemente, el reconocimiento de caras sea más difícil que el reconocimiento de objetos y que, por lo tanto, se altere con mayor facilidad en caso de daño cerebral? Es poco probable, ya que algunos pacientes presentan el modelo opuesto de alteración: pueden reconocer caras pero les cuesta mucho reconocer objetos (Moscovitch *et al.*, 1997). Esta doble disociación entre el reconocimiento de caras y el de objetos apoya el argumento de que los procesos de reconocimiento de rostros y el de objetos se realizan por separado en el cerebro. No obstante, todavía se están examinando otras explicaciones —como la idea de que el «área facial» está realmente implicada en el procesamiento de tipos de estímulos muy familiares (véase, p. ej., Gauthier *et al.*, 2000)—.




Al mirar al cerebro desde abajo se ve la localización del área fusiforme de la cara (marcada con elipses grises) en la cara inferior de la corteza. El área de la corteza que responde a las caras puede identificarse en ambos hemisferios, como se representa en el esquema, pero en la mayoría de las personas en el área del hemisferio derecho es más amplia y más sensible a ese estímulo.

[7] En el original, «cat's cradle»: juego infantil en el que se pasa de un jugador a otro un hilo trenzado entre los dedos. *(N. del T.)*

cientes con daño cerebral en la corteza temporal inferior tienen dificultades para reconocer todas las categorías de objetos. Además, los estudios de neuroimagen del reconocimiento normal de objetos han encontrado que regiones fuera del área fusiforme de la cara que responden por debajo del nivel óptimo a los rostros siguen presentando respuestas diferenciales a las caras y a otros tipos de estímulos (Haxby *et al.*, 2001). Esto significa que se analiza suficiente información visual fuera del área fusiforme de la cara para distinguir las caras de otros objetos. Sin embargo, son difíciles de explicar los datos neuropsicológicos de doble disociación entre el reconocimiento de caras y el reconocimiento de objetos si las representaciones están totalmente distribuidas. Un punto de vista intermedio es que todas las áreas ventrales participen en el reconocimiento de objetos y aporten información útil para clasificarlos en categorías, pero que se requieran ciertos sistemas distintos para llevar a cabo finas discriminaciones dentro de una categoría. Esta es un área activa de las investigaciones actuales y sin duda con el tiempo se sabrá más acerca de la organización del reconocimiento visual.



### *Control de comprensión*



1. ¿Qué es la agnosia visual?
2. ¿Cuáles son los cuatro tipos de modelos del reconocimiento de objetos?

# 5 Interpretación de arriba a abajo: lo que sabemos rige lo que vemos

La percepción no es un flujo de información en una única dirección; estamos predispuestos a entender la información nueva relacionándola con lo que ya sabemos. A medida que la información de abajo a arriba entra por los órganos de los sentidos y pasa por la jerarquía de análisis, se transmite información simultánea de arriba a abajo (conforme a nuestro conocimiento, creencias, metas y expectativas) y afecta a los procesos anteriores. Es más probable que el oso de Teseo se perciba como el arbusto que en realidad es cuando se está en el centro de un cuidado jardín y no «imaginándose algún temor» que en un bosque oscuro, donde es más probable que aparezca un oso. Utilizamos nuestro conocimiento para hacer que la percepción sea más eficaz, exacta y relevante en la situación presente, completando las partes perdidas del *input* sensitivo a partir de la información almacenada previamente en la memoria. El contexto cuenta.

## 5.1. Utilizar el contexto

Lo que vemos no es un reflejo exacto del mundo —¿cómo podría serlo?— ¿Cuál es el color «real» de una pared de ladrillos, la parte que se encuentra al sol o la parte que está a la sombra? Nuestra percepción de los componentes básicos del mundo, tales como los colores y los objetos, es simplemente inexacta, como se ha demostrado mediante experimentos psicológicos y observaciones durante los últimos siglos (Wade, 1998). Así pues, ¿cómo nos las arreglamos en un mundo tan rico en estímulos sensitivos? Nos arreglamos porque la información se interpreta en relación al contexto en todos los niveles de representación y procesamiento perceptivo. Nuestro sistema perceptivo tiene

heurística —métodos de solución de problemas rápidos y prácticos, en contraposición a algoritmos exhaustivos— para dar sentido al mundo sacando deducciones a partir de la información que recibe. La percepción es el resultado de dichas deducciones.

### 5.1.1. Efectos del contexto en el procesamiento de características y grupos

Las ilusiones visuales demuestran cómo la percepción puede deducir peculiaridades que no existen en la imagen; un buen ejemplo es el rectángulo blanco ilusorio de la Figura 2-14. Los bordes del rectángulo, que se perciben fácilmente, en realidad no existen en la imagen; nos los proporcionan nuestro sistema perceptivo basándose en el contexto de bordes negros y líneas. El fenómeno de los contornos ilusorios es uno de los modos en los que la percepción completa las piezas que faltan para hacer una interpretación comprensible del mundo.

Los estudios de las ilusiones visuales han puesto de manifiesto que el contexto —incluyendo nuestros conocimientos, creencias, metas y expectativas— lleva a una serie de suposiciones diferentes sobre las características visuales. Esperamos que la pared de ladrillos sea «en realidad» del mismo color toda ella, de modo que pese a la evidencia que tenemos ante nosotros debida a los cambios de iluminación a lo largo de su superficie creemos que toda ella es del mismo color. Este efecto se conoce como *ilusión de brillo* (Figura 2-24). Del mismo modo, las *ilusiones de tamaño* demuestran que suponemos que los objetos mantienen su tamaño «real» pese a que cambie la distancia evidente del observador (Figura 2-25). Si no hiciéramos esas suposiciones y viéramos «literalmente» más que percibir de forma deductiva, el mundo, ciertamente, resultaría muy confuso.



**FIGURA 2-24** Una ilusión de brillo

Tendemos a ver las ovejas del mismo color, incluso cuando en la imagen la luminosidad de su lana varíe espectacularmente.



**FIGURA 2-25** Una ilusión de tamaño

La mayoría de estas personas en un pasillo del Capitolio de EE.UU. parecen tener el mismo tamaño en la vida real. Lo anormal es la pequeña pareja que figura en el primer plano (marcada con la flecha) que de hecho es un duplicado, y por lo tanto tiene el mismo tamaño, de la pareja del fondo. Si se mueve la pareja del fondo fuera de su contexto, se pone de manifiesto la ilusión.



Los efectos de contexto que produce un grupo pueden ser también de contraste, haciendo que un elemento desparejado del grupo pueda parecer aún más insólito de lo que en realidad es. Un ejemplo clásico, la ilusión de Ebbinghaus (llamada así por quien la descubrió, el psicólogo alemán Hermann Ebbinghaus, 1850-1913) se presenta en la Figura 2-26. Los círculos centrales de cada grupo son del mismo tamaño, pero el que está en el contexto de círculos más pequeños parece más grande. Esta ilusión es más pronunciada cuando todas las formas son similares y se perciben como pertenecientes a un mismo grupo (Coren y Enns, 1993; Shulman, 1992). Considerar el movimiento de una bandada de pájaros como un todo puede hacer que nos resulte más fácil ver una desviación dentro del movimiento en común.

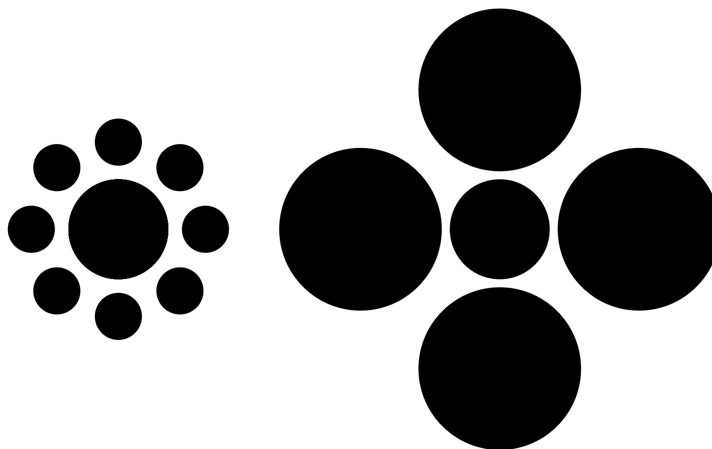


**FIGURA 2-26** La ilusión de tamaño de Ebbinghaus

Los círculos centrales de los dos conjuntos tienen el mismo tamaño. Sin embargo, el círculo central de la izquierda parece mayor que el de la derecha. En el contexto de los círculos más pequeños, el círculo central parece el más grande —y viceversa—.

### 5.1.2. Efectos del contexto en el reconocimiento de objetos

El reconocimiento depende de nuestras experiencias previas en el mundo y del contexto de dichas experiencias. El reconocimiento de un objeto puede mejorar si se ve en un contexto *esperado* (habíamos acordado encontrarnos con un amigo en el restaurante) o en un contexto *habitual* (ese amigo a menudo cena en dicho restaurante) y puede empeorar si el contexto es *inesperado* (¿qué hace mi primo de Australia en este restaurante de EE.UU.?) o *no coincidir con las experiencias previas* (¡nunca te había visto aquí antes!). Se ha demostrado experimentalmente que la influencia del contexto en el reconocimiento de objetos sencillos puede basarse en cómo se distribuye la atención (Biederman *et al.*, 1982) o en estrategias para recordar y responder a los objetos que aparecen en una escena (Hollingworth y Hendersen, 1991). Los efectos del contexto en el reconocimiento del objeto reflejan la información que es importante para la representación de los objetos y forman parte integrante de ellos.

Las investigaciones han demostrado que el procesamiento de arriba a abajo puede influir en nuestra percepción de las partes de los objetos. Por ejemplo, el contexto de las letras que la rodean puede modificar la percepción de una letra objetivo debido a un efecto que se conoce como **supremacía de la palabra**, lo que se demuestra en la Figura 2-27 (Selfridge, 1955). Las líneas de la letra del medio de cada palabra de hecho están dispuestas del mismo modo, pero se puede percibir como una «H» o una «A» para que encaje en el contexto en que se presentan. En estudios comportamentales, los sujetos identifican mejor una letra que se muestra durante un breve instante (por ejemplo, una «A») si se presenta en el contexto de una palabra («PAN») que si se muestra aislada («A») o en una pseudopalabra[8] («PAS») (Reicher, 1969; Wheeler, 1970). Esto resulta sorprendente porque a los sujetos sólo se les pidió que identificaran una sola letra y no necesitaban leer la palabra. Se podría pensar que la identificación correcta de las letras de la palabra se requiere *antes* de que la palabra pueda

[8] Palabra que no existe o carece de significado. *(N. del T.)*

TAE CAT

**FIGURA 2-27** Tan fácil como ABC

Puede que le resulte fácil leer estas palabras, pero no lo sería para un detector de características simples. Las letras del centro de cada palabra en realidad son conjuntos idénticos de líneas. El contexto de las letras que les rodean y el hecho de que sugieran una palabra con significado (en inglés) nos permite interpretar la letra central como una «H» en la primera palabra y como una «A» en la segunda, de modo que se puede leer «THE CAT». De «Pattern Recognition and Modern Computers» por O. Selfridge en *Proceedings of the Western Joint Computer Conference*, 1955, Los Angeles, CA.)

reconocerse, ya que las palabras se componen de letras. Así pues, ¿cómo puede ayudar el contexto de la palabra, si ya se han visto las letras? Investigaciones como ésta demuestran que el reconocimiento de objetos no es estrictamente una cuestión de poner juntas las piezas mediante un procesamiento de abajo a arriba. La palabra entera se reconoce por la influencia combinada de todas las letras, apoyando así la identificación de cada letra en razón de su contexto. Más adelante en este capítulo se analizará cómo un modelo interactivo de reconocimiento puede explicar la influencia de las palabras en la percepción de las letras y el efecto de supremacía de la palabra.

Se obtienen resultados similares cuando se pide a los sujetos que emitan juicios sobre los componentes de los objetos. Cuando se les pide que enjuicien el color de los segmentos de línea, los sujetos lo hacen mejor si la línea se encuentra en una letra o forma reconocible que si aparece en una disposición poco frecuente (Reingold y Jolicoeur, 1993; Weisstein y Harris, 1974; Williams y Weisstein, 1978). El procesamiento de caras ilustra asimismo la importancia del contexto; como se ha señalado, el rendimiento de los sujetos es mejor distinguiendo caras que sólo se diferencian en la forma de la nariz que distinguiendo diferentes narices presentadas por separado. Sin embargo, el efecto del contexto en la identificación de la nariz desaparece si se invierten las caras. Este efecto, denominado **supremacía de la cara**, demuestra que las partes de una cara boca arriba no se procesan independientemente sino que más bien se reconocen en el contexto de la totalidad del rostro. Estos efectos del contexto con palabras y con objetos demuestran que nuestro reconocimiento de una parte de una imagen a menudo depende de nuestro procesamiento de otros aspectos de dicha imagen. En la Figura 2-28 se presenta un llamativo ejemplo del efecto del contexto del rostro (tomado de Thompson, 1980). Las dos figuras son rostros, uno boca arriba, otro boca abajo. La figura boca abajo puede parecer un poco extraña, pero no es tan extraordinaria. Sin embargo, si se gira el libro para mirar la fotografía en posición boca arriba se verá que realmente es horrible. El contexto del rostro en su posición boca arriba hace que sea más fácil ver lo extraña que es en realidad.

## 5.2. Modelos de procesamiento de arriba a abajo

Como se ha expuesto, la percepción es resultado de un procesamiento de arriba a abajo y de uno de abajo a arriba. Al operar de abajo a arriba, las características se combinan formando ciertas representaciones del objeto y luego el objeto se empareja con representaciones almacenadas en la memoria. Cuando se opera en la otra dirección, ¿cómo se pueden plantear modelos de los efectos del contexto en el reconocimiento del objeto?

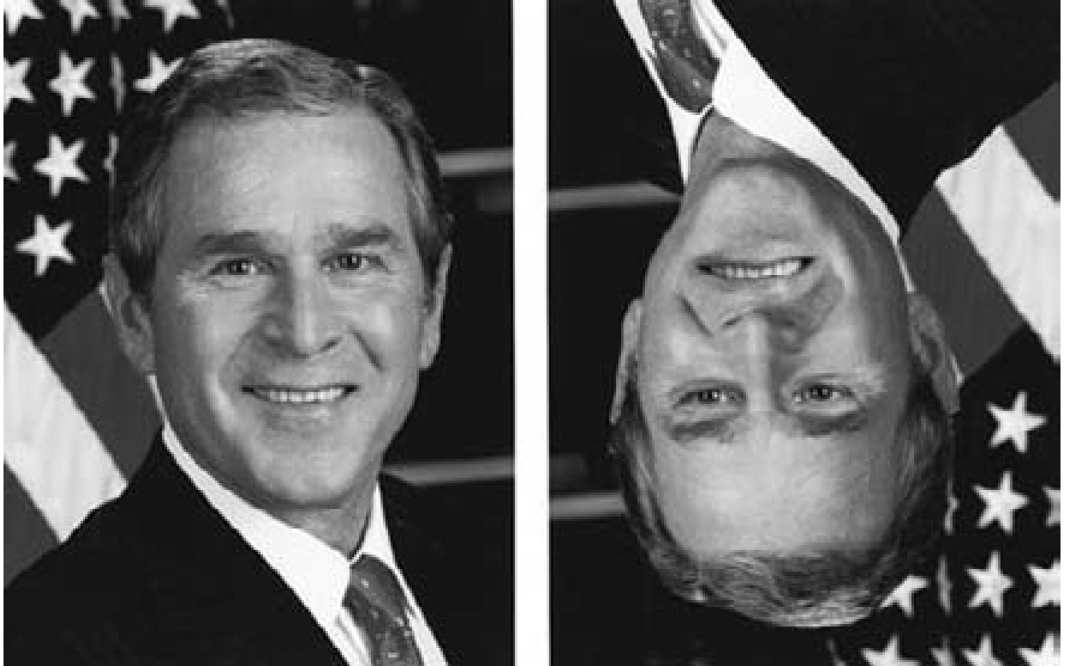


**FIGURA 2-28** La fuerza de la supremacía de la cara

La cara a la izquierda está en una posición normal, boca arriba. La cara a la derecha no se ve muy normal, de hecho, está distorsionada: los ojos y la boca hacia arriba pero el resto de la figura hacia abajo. Aun así, no resulta demasiado extraña; el hecho de que la cara no tenga un contexto apropiado disimula el detalle. Sin embargo, se puede apreciar por completo la distorsión cuando se ve la imagen boca arriba. Rótese el libro y véase la imagen como una cara boca arriba.

(Fotografía por Eric Draper. Cortesía de The White House Photo Office.)

## 5.2.1. Modelos de redes de retroalimentación

Uno de los modelos propuestos para el reconocimiento que se han estudiado antes es el modelo de coincidencia de características basado en una red, cuyo diagrama aparece en la Figura 2-19. El asunto de dicha discusión era unir características para formar una entidad mayor reconocible. Dado que en los modelos de red las unidades de diferentes niveles de representación procesan la información en niveles de organización diferentes, e *interactivos*, se puede utilizar esta misma arquitectura para entender cómo la información de niveles superiores (por ejemplo, las palabras) puede influir en la información de las primeras etapas (por ejemplo, las letras o las características de las letras). Esta dirección del flujo de información es de *retroalimentación*, ya que supuestamente es una reacción a la información aferente, de abajo a arriba, que a su vez ajusta etapas anteriores del sistema para lograr un mejor rendimiento (Mesulam, 1998).

El modelo de red de características referente al reconocimiento de palabras demuestra la mecánica de los efectos de arriba a abajo tales como la supremacía de la palabra. El modelo de red de características puede detectar una letra en particular a partir de sus rasgos de línea característicos, como las curvas de la letra «O». Hasta aquí, todo bien —pero nuestro entorno visual es mucho más desordenado, variable e impredecible que una página blanca perfectamente impresa—. ¿Qué ocurre si se derrama tinta sobre parte de una letra, como posiblemente ocurrió en la Figura 2-29?

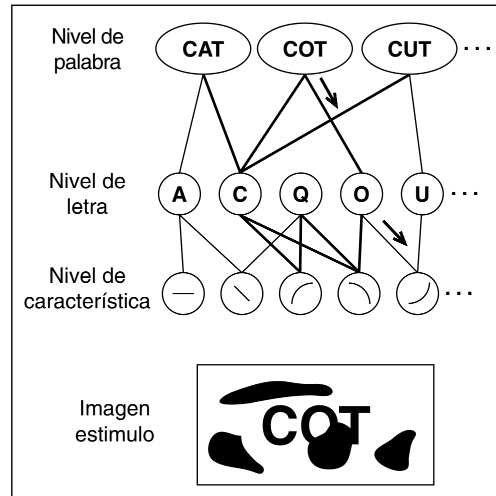



**FIGURA 2-29** Una red de características que muestra el procesamiento interactivo con la supremacía de la palabra

La imagen estímulo es una palabra en la que ha caído algo de «tinta» sobre sus letras. La actividad de abajo a arriba entre unidades de diferentes niveles (líneas gruesas) señala qué características están presentes y a qué letras podrían corresponder. La actividad de arriba a abajo (flechas) facilita las conexiones que podrían completar la parte que falta de una palabra (inglesa) conocida.

(Rumelhart, D. E., Mc Clelland, J. L. (1987). *Parallel Distributed Processing Explorations in the Microstructure of Cognition, Vol 1: Foundations*. The MIT Press; Cambridge, MA. Reimpreso con autorización.)

Sin el conocimiento de arriba a abajo sería imposible identificar la letra «O»; las partes visibles son compatibles con una «C», una «O» y una «Q». Sin embargo, a nivel de representaciones de palabras sólo existen unas cuantas palabras (en inglés) de tres letras que empiezan con la letra «C» y terminan con la letra «T». Las letras «C» y «T» podrían activar parcialmente cada una de estas palabras: «CAT», «COT» y «CUT». Esta unidad de palabras suministra luego información retroactiva a las representaciones de las letras «A», «O» y «U» mientras que la información aferente de abajo a arriba procedente de las características activará débilmente las letras «C», «G», «O» y «Q». Cuando se añade la influencia de arriba a abajo a la información de características, la «O» recibe la facilitación más fuerte y la palabra «COT» emerge como la unidad más activa en la capa de arriba. La facilitación de retroalimentación desde la capa de arriba resuelve el problema del reconocimiento de un *input* imperfecto utilizando la información almacenada sobre palabras para guiar el procesamiento.

Los otros modelos de reconocimiento también pueden utilizar métodos de retroalimentación entre diferentes tipos de representaciones para plantear modelos de las influencias de arriba a abajo. Por ejemplo, el reconocimiento de la configuración de una cara boca arriba, influida por nuestro conocimiento de arriba a abajo sobre la «apariencia» que tienen habitualmente las caras, puede explicar de manera parecida porqué percibimos mejor las partes en caras boca arriba.

### 5.2.2. Enfoques bayesianos

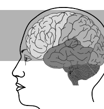
Un enfoque diferente para plantear un modelo de la influencia de los efectos del procesamiento de arriba a abajo se basa en la observación de que la influencia de la in-

formación almacenada es *probabilística*; esto es, refleja lo que ha ocurrido con frecuencia en el pasado y , por lo tanto, es probable que vuelva a ocurrir. ¿Es posible que nuestros sistemas perceptivos almacenen información sobre la probabilidad de diferentes sucesos en el mundo perceptivo? Si es así, el problema de la identificación de objetos se convierte en algo similar al problema matemático de estimar probabilidades. Veamos este ejemplo: existe una alta probabilidad de que un plátano sea amarillo, curvado y alargado. Un calabacín puede también ser amarillo, curvado y alargado. Si buscamos algo amarillo, curvado y alargado, ¿es un plátano, un calabacín, o cualquier otra cosa? Es difícil decirlo. En el mundo hay una serie de cosas —una de ellas, los globos— que pueden ser amarillas, curvadas y alargadas. La probabilidad de que un plátano tenga esas peculiaridades no resulta de mucha ayuda. El reconocimiento sería más fácil si supiéramos cuál es la probabilidad *contraria*, las posibilidades de que algo amarillo, curvado y alargado sea un plátano. Es posible estimar la probabilidad contraria a partir de las probabilidades disponibles mediante una regla matemática conocida como el teorema de Bayes (el matemático inglés del siglo XVIII, Thomas Bayes). Los métodos bayesianos utilizan la información de las experiencias previas para hacer suposiciones sobre el entorno actual. Así pues, aplicando el teorema de Bayes, si se ven muchos plátanos y tan sólo unos pocos calabacines, una suposición razonable es que el objeto presente, amarillo, curvado y alargado, sea un plátano.

Los investigadores utilizan el enfoque bayesiano para demostrar que la experiencia previa puede determinar las percepciones actuales de las personas. Como en el caso de los efectos del contexto, establecemos expectativas de lo que veremos basándonos en lo que hemos visto con anterioridad. Durante el aprendizaje de tareas sencillas, tales como detectar patrones blancos y negros, los modelos bayesianos han predicho correctamente las capacidades de los sujetos (Burgess, 1985). Al saber más, a partir de la experiencia, sobre qué patrón es probable que se de, mejora la exactitud de la percepción en la tasa que predice la teoría bayesiana. En tareas que requieren más requisitos, como juzgar las tonalidades de gris de recuadros bajo diferente iluminación, los modelos bayesianos captan nuestra capacidad de juzgar los tonos y nuestra tendencia a asumir que el recuadro más brillante de cualquier muestra está pintado en blanco (Brainard y Freeman, 1997; Land y McCann, 1971). Las probabilidades bayesianas aciertan incluso al describir juicios mucho más complicados, por ejemplo, cómo vemos que los objetos se mueven y cambian de forma (Weiss y Adelson, 1998). Con este enfoque también se han planteado modelos del reconocimiento de otros muchos atributos y objetos (Knill y Richards, 1996), dado que es un método eficaz y cuantificable para especificar cómo se incluye la información almacenada previamente en la interpretación de las experiencias actuales.



## *Control de comprensión*



1. ¿De qué modo afecta el contexto a la percepción de los objetos?
2. ¿De qué manera puede cambiar el procesamiento de arriba a abajo el modo en que se perciben las características?

# 6 De modelos y cerebros: la naturaleza interactiva de la percepción

La vista desde la ventana de la habitación en el castillo de la cumbre de Condillac nos proporciona una perspectiva más amplia de los procesos perceptivos. Recordemos la situación: llegamos en la oscuridad, sin conocer nada de los alrededores. Ahora es por la mañana, alguien nos trae un bollo y un café con leche y abre las cortinas. ¿Qué es lo primero que vemos en un primer vistazo desde la ventana? La vista panorámica contiene demasiada información para percibirla toda de una vez. Pese a ello, enseguida nuestros procesos perceptivos empiezan a detectar las características y a unir las partes, y simultáneamente nuestro conocimiento del entorno —en lo relativo a árboles, campos y montañas, hayamos visto o no esos en particular con anterioridad— nos da un cierto contexto para dar forma a la información sensitiva aferente.

El procesamiento de abajo a arriba está determinado por la información que procede del medio ambiente; el procesamiento de arriba a abajo lo está por el conocimiento, las creencias, las metas y las expectativas internos. ¿Qué método utilizamos habitualmente? Ésta no es una pregunta bien planteada. En cualquier momento dado, y para las diversas interpretaciones de los diferentes estímulos —que en la vida real nos llegan constantemente y en tropel—, nos basamos más en un proceso que en otro, pero ambos son esenciales para la percepción. Muchos efectos de contexto del procesamiento de arriba a abajo derivan de la interacción entre el procesamiento de abajo a arriba y el conocimiento de arriba a abajo.

## 6.1. Mejorar el reconocimiento

La mayor parte del tiempo, los procesos de abajo a arriba y los de arriba a abajo operan conjuntamente —y de forma *simultánea*— para establecer la mejor solución disponible para el reconocimiento de los objetos. La información no se propaga hacia adelante a través del sistema visual estrictamente en serie, a lo que sigue un flujo descendente de información derivado de los procesos que operan en las representaciones almacenadas. Lo esencial de la percepción es una interacción dinámica, con influencias hacia adelante y hacia atrás que actúan todo el tiempo. Los modelos interactivos del reconocimiento, tales como el modelo de la red de características (McClelland y Rumelhart, 1981), asumen que las unidades se influyen unas a otras a través de todas las capas. Las unidades de orientación de líneas y de nivel de palabra influencian a las unidades del nivel de letra *al mismo tiempo* para especificar el grado de activación de las unidades del nivel de letra.

En el cerebro se observa una interacción similar. Algunas áreas visuales de la vía dorsal, incluyendo al área TM y áreas relacionadas con la atención pertenecientes a los lóbulos parietales y frontales, responden inmediatamente poco después de que disparen las neuronas más rápidas de V1 y mucho antes de que las neuronas de la vía ventral puedan responder (Schmolesky *et al.*, 1998). Estas áreas de nivel superior y de rápida respuesta se pueden estar preparando para guiar la actividad de áreas de un nivel inferior.

Las interacciones entre procesos pueden llevarse a cabo en el cerebro debido a que las conexiones entre las áreas visuales son recíprocas. Las estructuras visuales (entre

ellas el núcleo geniculado lateral, NGL) que procesan el *input* en las etapas iniciales llevan la información hacia adelante a áreas (como V1) que procesan las etapas posteriores; se da asimismo una retroalimentación sustancial desde las últimas etapas a las iniciales. Las conexiones recíprocas entre diferentes áreas visuales por lo general tienen lugar entre grupos de neuronas que representan localizaciones similares en el campo visual, de modo que estas neuronas pueden intercambiar rápidamente información sobre qué características u objetos se encuentran en dicha localización (Rockland, 2002; Salin y Bullier, 1995). Parte de este procesamiento de la información implica elaborarla desde las unidades centro-periferia en el NGL hasta los detectores de orientación en V1. Las conexiones de retroalimentación desde áreas de nivel superior hasta áreas de nivel inferior contribuyen a guiar el procesamiento en las áreas de nivel inferior. El sistema visual invierte gran cantidad de valioso cableado biológico en estas conexiones de retroalimentación. El área V1 envía más proyecciones de vuelta al NGL de las que recibe de él, y recibe más proyecciones de retroalimentación del área V2 de las que envía hacia delante a V2. «Ningún hombre es una isla» y ningún área visual opera independientemente de sus vecinas. Estas conexiones recíprocas permiten un procesamiento reiterado, esto es, un procesamiento en el cual se intercambia repetidamente información entre las áreas visuales, cada vez con datos adicionales, para mejorar la representación del estímulo y prolongar la permanencia de su representación (Di Lollo *et al.*, 2000). Parece ser que el cerebro está organizado de tal forma que favorece la interacción entre el procesamiento de arriba a abajo y el de abajo a arriba.

## 6.2. Resolver la ambigüedad

La información desde una única posición estratégica es fundamentalmente ambigua. Puesto que nunca podemos estar seguros de qué es lo que hay en el mundo real, el cerebro tiene que analizar información incompleta para proporcionar la deducción más probable. Normalmente, sólo una es la resolución más idónea, pero en ocasiones hay más de una. Consideremos, por ejemplo, el cubo de Necker (Figura 2-30), que recibe su nombre del cristalógrafo suizo del siglo XIX Louis Albert Necker, quien observó que alguno de sus dibujos lineales de estructuras cristalinas parecía cambiar espontáneamente de orientación. Esta famosa figura se puede percibir como un cubo tridimensional visto o bien desde arriba, o bien desde abajo (o, en ocasiones, como una figura plana de dos dimensiones). Cuando se mira un estímulo ambiguo como éste, por lo general se experimentan una **percepción biestable** —esto es, se pueden percibir ambas interpretaciones, *pero sólo una cada vez*—. No se pueden ver las dos interpretaciones al mismo tiempo, incluso si se sabe que ambas existen y de hecho se

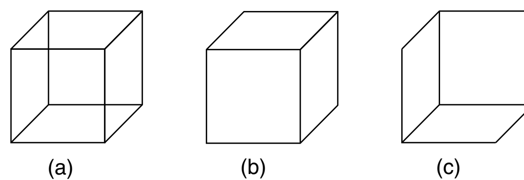



**FIGURA 2-30** Una figura ambigua: el cubo de Necker

El cubo (a) puede interpretarse de dos maneras. Se puede ver o bien un cubo enfocado hacia abajo y la izquierda (b) o bien un cubo mirando hacia arriba y la derecha (c). Se tendrá la impresión de que la figura ambigua pasa espontáneamente de una interpretación a otra.

hayan visto. Las percepciones biestables llevan a una alternancia espontánea de ambas percepciones, incluso cuando se tienen los ojos enfocados en un punto de fijación para que el *input* de abajo a arriba se mantenga constante. El fenómeno demuestra que el sistema visual es muy dinámico y está calculando continuamente la mejor solución posible cuando dos de ellas en un principio pueden ser posibles.

Las redes neurales pueden ofrecer un modelo de esta alternancia espontánea basándose en dos principios, la *competición y la adaptación*. Si una de dos interpretaciones posibles produce una pauta de activación más fuerte, suprimirá a la otra, produciendo una única interpretación ganadora. Sin embargo, la capacidad de un «ganador» para suprimir gradualmente al «perdedor» con el tiempo se adapta gradualmente o se debilita, hasta que el «perdedor» puede dominar. El proceso es similar a una contienda entre dos luchadores. Según ruedan sobre la colchoneta intentando trabarse, el que está arriba parece estar ganando pero es vulnerable a los ataques del que está debajo. Si tienen las mismas capacidades, o casi, habrá varias tandas y cada luchador tendrá una serie de éxitos y de fracasos momentáneos, alternativos. Las interpretaciones perceptivas compiten de un modo parecido para ser el «ganador». Cuando dos posibilidades pueden ambas encajar con la información aferente, de modo que no hay un ganador claro, vemos, como si en realidad ocurriera, cómo se desarrolla un combate de lucha libre (Levelt, 1965).

La biestabilidad puede ocurrir en muchos niveles del sistema visual, como lo demuestran diferentes tipos de figuras ambiguas, que nos pueden irritar. Algunas, como la copa de Rubin (Figura 2-31a), que debe su nombre al psicólogo danés Edgar Rubin (1986-1951), y los pájaros y peces de Escher, presentan una relación ambigua. En estos casos las dos interpretaciones difieren según la parte de la imagen que parece ser la figura, «en la parte de delante» y lo que parece ser el fondo. Otras figuras ambiguas, como la figura del pato-conejo (Figura 2-31b), muestran una competición entre dos representaciones que se corresponden con interpretaciones diferentes. Durante las inversiones espontáneas de estas figuras ambiguas se activan zonas de la corteza extraestriada ventral implicadas en el reconocimiento de objetos (Kleinschmidt *et al.*, 1998), lo que sugiere que estas áreas extraestriadas especializadas en objetos probablemente se relacionen con nuestra experiencia consciente de los objetos.

Una forma de percepción biestable, llamada **rivalidad binocular** —un estado en el cual compiten las imágenes individuales de cada ojo— aporta más indicios referentes

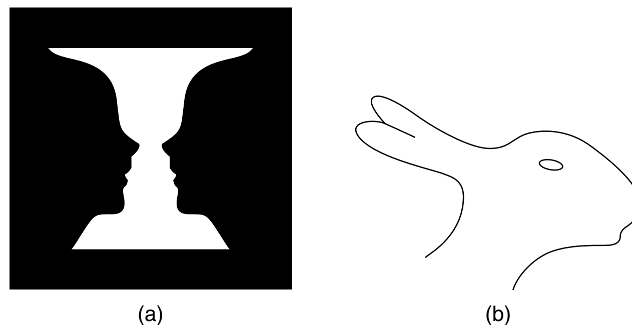



**FIGURA 2-31** Más figuras ambiguas

(a) La ilusión copa-cara de Rubin: la imagen parece tanto dos siluetas que se enfrentan como una copa blanca sobre un fondo negro. (b) La figura pato-conejo: el dibujo puede ser tanto un pato que mira a la izquierda como un conejo que mira a la derecha.

a la naturaleza y los orígenes de la consciencia (Andrews *et al.*, 2005). Si una imagen monocular diferente, es decir, una imagen vista sólo por un ojo, se ve en la fóvea de cada ojo, alternamos de forma espontánea entre las dos imágenes, invirtiéndolas cada pocos segundos y sin ver nunca las dos al mismo tiempo. Éste es un fenómeno particularmente interesante porque se puede hacer una clara distinción entre lo que se presenta y lo que se percibe conscientemente. Las imágenes están ahí, frente a un sistema visual intacto. Cuando se presentan juntas pero se perciben sólo alternativamente, ¿qué actividad neural está ocurriendo en el cerebro más allá de la retina? Los estudios neurofisiológicos realizados con monos han encontrado actividad neural relacionada con el conocimiento en áreas visuales superiores (Leopold y Logothetis, 1996). En estudios de neuroimagen con seres humanos se ha hallado una correspondiente alternancia de la activación de áreas cerebrales superiores especializadas en rostros y en lugares durante situación de rivalidad entre una imagen de un rostro y una de una casa (Tong *et al.*, 1998). Lo que es más importante, se han encontrado dichos efectos en la corteza visual primaria (Polonski *et al.*, 2000; Tong y Engel, 2001), lo que indica que esta forma de competición perceptiva ocurre en las etapas más tempranas del procesamiento cortical. Los estudios de rivalidad proporcionan pruebas de la localización (*locus*) del correlato neural de la consciencia; los resultados sugieren que dicha actividad, incluso en una etapa de procesamiento tan temprana como la que se da en la corteza visual primaria, puede estar relacionada con la consciencia.

Pero estos estudios neurofisiológicos y modelos de redes neurales no explican el elemento esencial de la percepción biestable: la exclusividad mutua. ¿Por qué no podemos tener múltiples interpretaciones de una percepción al mismo tiempo? Todavía no se sabe la respuesta exacta, pero una explicación es que la biestabilidad es un resultado colateral de la inhibición necesaria para el funcionamiento satisfactorio del cerebro y las redes neurales. El hecho de ver *ambos* estímulos en situación de rivalidad binocular no ayudaría al organismo humano. Si se mantiene una mano delante de un ojo de forma que un ojo vea la mano y el otro vea un rostro que está enfrente, sería un error —esto es, algo muy alejado de la realidad del estímulo— del sistema visual crear una imagen de una cara y una mano fusionadas. Una percepción ha de ganar e inhibir las otras posibilidades. En la mayoría de las ocasiones no existe un claro ganador. Las condiciones que producen una fuerte rivalidad y biestabilidad surgen en el laboratorio con mayor frecuencia que en la vida perceptiva diaria.

## 6.3. Ver el «qué» y el «dónde»

La visión se ocupa de averiguar qué está dónde. Para guiar nuestras acciones necesitamos ser capaces de identificar los objetos y saber su localización espacial exacta. Como se ha mencionado previamente, los procesos para determinar el qué y el dónde se llevan a cabo en vías separadas en el cerebro (Figura 2-32). El procesamiento espacial de la localización se basa en la vía dorsal «dónde», la cual consiste en muchas áreas visuales que conducen la información desde V1 a los lóbulos parietales. El reconocimiento del objeto se basa en la vía visual ventral, que se proyecta desde V1 hasta áreas ventrales tales como V4 y la corteza temporal inferior. En un estudio clásico, Ungerleider y Mishkin (1982), lesionando cerebros de mono entrenados para realizar tareas tanto de reconocimiento como de localización, demostraron que estas dos vías anatómicas realizan dichas funciones específicas. Los monos con lesión en la corteza

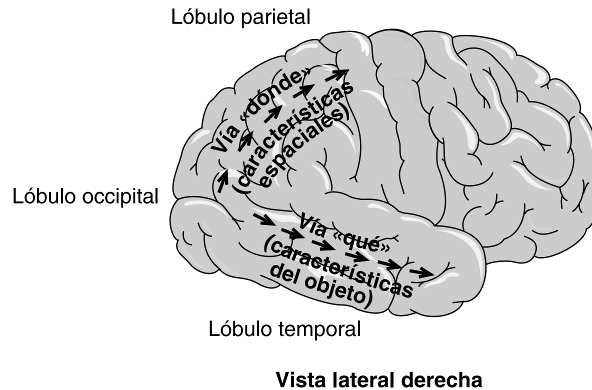



**FIGURA 2-32** Las dos vías de procesamiento visual

La vía «dónde», o vía dorsal, incluye áreas cerebrales de los lóbulos occipitales y parietales que están implicadas en la localización de objetos en el espacio, y proporcionan información a los sistemas motores para la acción guiada visualmente. La vía «qué», o vía ventral, incluye áreas de los lóbulos occipitales y temporales involucradas en el reconocimiento de los objetos.

(Imagen del cerebro de *Neuroanatomía*, de Martin, Fig. 4.13. Nueva York. McGraw-Hill. Reproducido con autorización.)

temporal inferior, la vía ventral, tenían una alteración selectiva del reconocimiento de objetos. Ya no podían distinguir entre bloques de formas diferentes, como una pirámide y un cubo. Los monos con lesión en la corteza parietal posterior, la vía dorsal, tenían afectada la capacidad de localizar objetos. Ya no podían juzgar cuáles eran los dos objetos de un grupo de tres que se encontraban más cercanos entre sí. Los estudios de neuroimagen de la función cerebral normal en seres humanos también indican esta disociación: ocurre más actividad en las áreas dorsales durante tareas de localización y más actividad en las áreas ventrales durante tareas de reconocimiento.

«Qué» y «dónde» pueden tener sustratos neurales separables, pero experimentamos un mundo visual en el cual «qué» y «dónde» están integrados. La información sobre lo que es un objeto tiene que interactuar con la información sobre dónde se encuentra para combinarse en nuestra percepción del mundo. Se sabe muy poco sobre cómo el cerebro lleva a cabo esta hazaña; hasta ahora la investigación sólo ha podido describir los cometidos de las dos vías visuales. Una propuesta es que la vía dorsal puede estar implicada en planificar las acciones guiadas visualmente, así como en localizar los objetos (Goodale y Milner, 1992). Estos investigadores examinaron a un paciente que tenía un daño difuso en toda la corriente ventral debido a un envenenamiento por monóxido de carbono. Padecía una *agnosia perceptiva* severa, esto es, una dificultad para apreciar incluso los aspectos básicos de la forma de los objetos (Goodale *et al.*, 1990, 1991). La paciente no podía ni siquiera describir una línea como vertical, horizontal o inclinada. Sin embargo, si se le pedía que «mandara por correo» una carta introduciéndola en una rendija inclinada con un ángulo determinado, podía hacerlo correctamente (Figura 2-33; de A. D. Milner *et al.*, 1991), pero no podía decir en qué sentido estaba inclinada la rendija. Su déficit no podía atribuirse a una alteración de la capacidad de lenguaje o a una incapacidad de entender la tarea, puesto que cuando se le pedía que inclinase la tarjeta con el mismo ángulo que la rendija vista a distancia, podía hacerlo, pero no podía decir en qué sentido estaba inclinada la rendija (o si lo estaba). Estos datos sugieren que sólo podía acceder a la información sobre la orientación de la rendija mediante la acción.

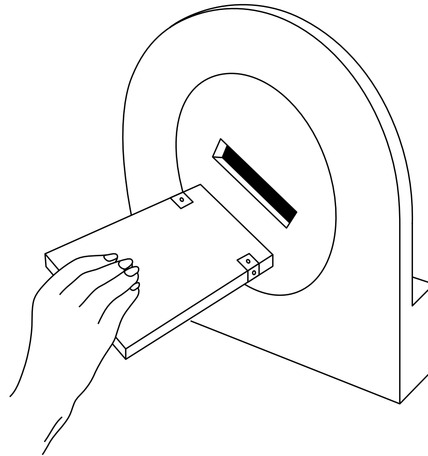


**FIGURA 2-33** Investigación de la vía dorsal y la vía ventral

Un esquema de la carta y la rendija utilizadas en el experimento de Goodale y Milner con un paciente de agnosia perceptiva (la rendija está en una rueda que se puede girar en cualquier sentido.

(Biederman, I. (1995) Visual object recognition. In S. M. Kosslyn y D. N. Osherson, *An Invitation to Cognitive Science, Vol 2: Visual Cognition*. The MIT Press; Cambridge, MA. Reproducido con autorización.)

En contraposición, el daño de la vía dorsal puede llevar a la *apraxia*, incapacidad de hacer movimientos voluntarios aun cuando no haya parálisis (para una revisión, véase Goodale *et al.*, 1990; Koski *et al.*, 2002). Los pacientes con apraxia pueden realizar acciones de memoria y no tienen dificultades para describir lo que ven; no tendrían problemas para decir cuál es la orientación de la rendija del «buzón». Pero tienen grandes dificultades para realizar nuevas acciones sobre lo que ven, como echar la carta través de la rendija. Estos y otros datos apoyan la idea de que las vías dorsal y ventral pueden estar doblemente disociadas y, por lo tanto, sustentan funciones separadas. Los modelos de reconocimiento y de localización espacial sugieren que el hecho de que estas funciones estén separadas produce una mejor ejecución de cada una de ellas, siempre y cuando se disponga de recursos suficientes (esto es, nodos y conexiones) (Rueckl *et al.*, 1989). Todavía se está investigando qué tipo de funciones controla exactamente cada vía y cómo interactúan ambas.



## Control de comprensión



1. ¿La percepción resulta del procesamiento de abajo a arriba o del de arriba a abajo?
2. ¿Qué son la vía «qué» y la vía «dónde»?

# Repaso y reflexión

1. *¿Qué es la percepción y por qué es una capacidad difícil de entender?*

   Los sentidos son nuestra ventana al mundo y nos proporcionan la materia prima para construir nuestro conocimiento del entorno. Las metas principales de la percepción son llegar a comprender qué es lo que hay ahí fuera, en el mundo, y dón-

de se encuentra. Pero la percepción no es un mero registro de sensaciones: implica interpretar información, que con frecuencia es ambigua, insuficiente o apabullante, a la luz del conocimiento, las creencias, las metas y las expectativas. Ambigua: ¿es un oso o un arbusto, un conejo o un pato? El contexto de la noche nos asusta —¡sólo es un arbusto¡—. La biestabilidad nos permite ver pato-conejo-pato-conejo y nos protege de la confusión de un patoconejo. No es suficiente: el *input* sensitivo no contiene la información necesaria para definir los objetos con precisión, así que hemos de hacer asunciones y suposiciones inconscientes. Es demasiada: en un momento dado se dispone de un excesivo *input* sensitivo, de modo que el procesamiento, otra vez inconscientemente, ha de sacar provecho de las redundancias y las expectativas con el fin de seleccionar los datos importantes para analizarlos detalladamente.

**Piense críticamente**

- ¿Piensa que es posible que los alienígenas de otro planeta puedan tener un sistema perceptivo mejor que el nuestro? ¿Por qué sí o por qué no?
- ¿Lo que constituye «demasiada» información es siempre lo mismo, de un momento a otro, o esto depende del contexto? Si esto último, ¿cómo alteran su rendimiento los sistemas perceptivos dependiendo del contexto para tomar más o menos información?

2. *¿Qué principios generales nos ayudan a entender la percepción?*

En el cerebro, los procesos de abajo a arriba y los de arriba a abajo interactúan continuamente, haciendo posible que se desarrollen y se perfeccionen percepciones útiles. Los procesos de abajo a arriba detectan las características de los estímulos sensitivos —tales como los bordes y puntos, el color y el movimiento—. El sistema visual hace deducciones conscientes e inconscientes (como cuando aporta las partes perdidas de una forma) basándose en dichos agrupamientos. En ocasiones, las deducciones son «incorrectas», como en el caso de los contornos ilusorios, pero aún así, a menudo son útiles, lo que nos permite orientarnos en el mundo sensitivo. Los procesos de arriba a abajo se basan en el conocimiento, las creencias, las metas y las expectativas para guiar la exploración e interpretación de las percepciones. Los mecanismos perceptivos del cerebro desechan cierta información que es redundante, de forma que pueden reducir el *input* a las características esenciales y completar la información que falta a partir de la información almacenada referente al aspecto habitual de los objetos y las expectativas sobre lo que es de interés en cada momento.

**Piense críticamente**

- ¿En qué situaciones de la vida diaria demanda más requisitos la percepción?, ¿hasta qué punto algunos actos, tales como conducir un coche en medio del tráfico o leer en un ambiente ruidoso, podrían basarse en el procesamiento de arriba a abajo?
- ¿En qué podrían diferir los adultos y los niños respecto a su percepción de objetos habituales, tales como botellas y caras?, ¿y en lo referente a objetos poco habituales, como una tuerca de mariposa o un ornitorrinco?

3. *¿Cómo unimos las partes para reconocer objetos y acontecimientos?*

Los elementos de construcción del procesamiento visual se detectan en las primeras etapas del análisis visual y después se combinan para producir el reconoci-

miento del objeto. Los detectores de características, tales como las neuronas que responden a líneas y bordes, pueden tener interacciones locales que pueden sugerir una interpretación global, como una línea larga o un borde. Los principios de agrupamiento son reglas de las que se vale la percepción para unir las características que probablemente vayan juntas, por ejemplo, porque se encuentran cerca unas de otras (agrupamiento por proximidad) o parecidas (agrupamiento por semejanza). Otros varios principios subyacen asimismo al modo en que organizamos las características en patrones que es probable que se correspondan con los objetos.

**Piense críticamente**

- ¿Por qué decimos que dos cosas son «similares» o «distintas»? Se ha dicho algunas veces que para entender la naturaleza de la semejanza necesitaríamos entender la mayoría de la percepción visual. ¿Por qué podría ser esto cierto?
- Suponga que es transportado mágicamente al planeta Ziggatat en una dimensión diferente y que cuando mira a su alrededor no ve ningún objeto que reconozca. ¿Cómo describiría lo que ve?, ¿cómo podría decir dónde acaba un objeto y comienza otro?

4. *¿Cómo reconocemos objetos y acontecimientos?*

Los modelos del modo en que el cerebro reconoce los objetos y los acontecimientos incluyen modelos de coincidencia con una plantilla, que emparejan la información sensitiva en su totalidad con una plantilla mental; modelos de coincidencia de características, que emparejan características distintivas del *input* con descripciones de las características de los objetos almacenadas en la memoria; modelos de reconocimiento por componentes, que emparejan la disposición de las partes de una estructura definida con la descripción de los objetos almacenada; y modelos de configuración, que emparejan el grado de desviación de un prototipo con una representación del mismo almacenada. Los objetos se pueden descomponer en partes tridimensionales (como los geones), que llevan al reconocimiento mediante su disposición; la configuración de las partes de los objetos puede ser el elemento clave que permita el reconocimiento de algunos objetos, tales como las caras. Es probable que el cerebro reconozca los objetos combinando estas representaciones con procesos para potenciar al máximo la fiabilidad de la percepción y hacer que el reconocimiento sea más rápido y más económico. Parece ser que la percepción visual saca provecho del mejor método para reconocer objetos en función del objeto que ha de reconocerse.

**Piense críticamente**

- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas relativas de los principales métodos del reconocimiento de objetos?
- En ocasiones, se distingue entre «reconocimiento» e «identificación». Cuando se hace esta distinción, el reconocimiento está formado sencillamente por un emparejamiento del *input* perceptivo con la información perceptiva almacenada, de manera que se sabe que el estímulo es conocido. En contraposición, la identificación está formada por la activación de la información que está asociada con el objeto (como su nombre y categoría a la que pertenece). ¿Piensa el lector que esta distinción es útil?, ¿qué predicciones podrían hacerse acerca de los posibles efectos del daño cerebral en la percepción?

5. *¿Cómo afecta nuestro conocimiento a nuestra percepción?*

El conocimiento de los objetos aporta la base del reconocimiento. El conocimiento también guía la percepción hacia la interpretación más probable del entorno actual. Esta interpretación nos permite compensar los elementos perdidos o ausentes de un borde, extendiendo los bordes detectados para completar lo percibido. Además, el contexto que rodea a una característica, grupo u objeto ayuda a determinar la percepción: el contexto puede facilitar el reconocimiento cuando es complementario o alterar el reconocimiento cuando es impreciso. Las interacciones entre el conocimiento y el *input* perceptivo real lleva a la percepción.

**Piense críticamente**

- ¿Cómo se explica que personas de distintas partes del mundo perciban las cosas de manera diferente?, ¿qué tipo de entorno favorecería o perjudicaría el reconocimiento en personas diferentes?
- De vuelta al planeta Ziggatat, supongamos que ha conjeturado cuáles son las partes que forman parte de cada objeto y ha llegado a darles nombre. ¿Qué problemas persistirían a medida que conoce este nuevo entorno?

6. *Por último, ¿cómo une el cerebro las muchas y diversas señales que utilizamos para percibir?*

Las conexiones neurales recíprocas entre áreas del cerebro juegan un papel clave en la integración de las señales que se procesan en diferentes vías —ningún área visual opera independientemente de las colindantes—, lo que asegura que la información se puede propagar hacia adelante y hacia atrás entre los niveles de representación. Lo esencial de la percepción es la interacción dinámica, con influencias de transmisión de la información hacia adelante y hacia atrás (retroalimentación) que actúan todo el tiempo. Los modelos interactivos del reconocimiento asumen que las unidades se influyen unas en otras entre todos los niveles. Además, los sistemas perceptivos encuentran una única representación del *input* en la cual todas las piezas encajan simultáneamente, incluso si puede haber otra interpretación. Las interpretaciones se consiguen y se modifican de acuerdo a los principios de competencia y de adaptación: si una de dos (o más) interpretaciones posibles produce una pauta de activación más fuerte, esa interpretación suprime la(s) otra(s). No obstante, la que «gana» se adapta gradualmente y se debilita con el tiempo, hasta que una que ha «perdido» puede hacerse dominante. Así pues, si el estímulo es ambiguo, nuestra percepción de él cambiará con el tiempo. Por último, en algunos casos, sistemas distintos —como los que se utilizan para determinar el «qué» y el «dónde»— operan de forma simultánea y relativamente independiente, y se coordinan, en parte por el momento preciso en que se producen representaciones específicas. Este proceso de coordinación se basa en la atención, que es el tema del siguiente capítulo.

**Piense críticamente**

- ¿Por qué tiene sentido que los procesos estén siempre interactuando, en vez de hacerlo sólo cuando cada uno de ellos ha «terminado» su propio trabajo?
- ¿Es mejor tener una interpretación de un estímulo ambiguo que intentar tener presentes todos los modos en los que se podría interpretar el estímulo?, ¿por qué piensa el lector que el cerebro «quiere» encontrar una única interpretación?

# Atención

CAPÍTULO 3

## Objetivos de aprendizaje

En una gran y ruidosa fiesta, estamos buscando a una amiga que hemos perdido entre la multitud. Buscamos su traje verde en el océano de colores. Intentamos captar el sonido de su voz entre el tumulto general. ¡Allí está! De alguna manera, por encima de la música alta y de la ruidosa conversación oímos que nos llaman por nuestro nombre. Pero antes de que podamos ir muy lejos, nos detiene en el camino el sonido de cristales rotos —movemos bruscamente la cabeza y vemos que una jarra ha caído de una mesa cercana—. Mientras otros se ocupan de los cristales, cruzamos la habitación abarrotada de gente en dirección a esa amiga.

Los procesos por los que pudimos localizar a dicha amiga, escuchar nuestro nombre pese al ruido de la fiesta, y luego girar rápidamente hacia el ruido de cristales rotos y entonces apartarnos de él, implican atención. En el contexto del procesamiento de la información humano, la **atención** es el proceso por el cual, en un momento dado, se resalta cierta información y se inhibe otra. El relieve nos permite seleccionar determinada información para procesarla más y la inhibición nos permite dejar determinada información aparte.

A lo largo de la vida —de hecho, durante todo el día y en cada minuto— nos bombardea una cantidad abrumadora de información perceptiva; la fiesta es simplemente un ejemplo muy espectacular de lo que está ocurriendo en cualquier momento. Nuestra capacidad de procesamiento de información no puede darle sentido al constante *input* procedente de diversas fuentes. ¿Cómo nos enfrentamos a ello?, ¿cómo nos las arreglamos para evitar sobrecargarnos de información y, en consecuencia, resultar incapaces de actuar?, ¿cómo elegimos en cada instante la información que es significativa y evitamos que nos distraigan los datos que no vienen al caso? Una solución es centrarnos en cierto fragmento de información determinado (como el sonido de nuestro nombre o un color que nos interesa) y *seleccionarlo* para procesarlo con preferencia a otros *bits*[1] de información disponibles, dada su importancia inmediata en una situación dada. ¿Es pues la atención algo que nosotros invocamos voluntariamente y que nos permite concentrarnos en cierta parte de los estímulos aferentes? La respuesta, concisamente, es que sí; pero esa no es toda la historia. Incluso si tenemos claras nuestras intenciones y metas, y sabemos exactamente cuál es la información que nos interesa, otros aspectos del *input*, si son lo suficientemente destacados, pueden captar nuestra atención y distraernos, así como el ruido repentino de los cristales rotos interrumpió la búsqueda de la amiga.

En seguida surge una multitud de preguntas: ¿mientras estamos atendiendo a algo, inhibimos y suprimimos, de forma activa, distracciones o simplemente las ignoramos y las dejamos pendientes en un segundo plano?, ¿qué ocurre con la información a la que no atendemos?, ¿qué sistemas y mecanismos cerebrales subyacen a estas capacidades de atención y qué trastornos se manifiestan cuando se dañan estos sistemas y mecanismos?

Este capítulo examina la atención en tanto que una capacidad cognitiva. En concreto, trataremos los cuatro asuntos siguientes:

1. ¿Qué es la atención y cómo opera durante la cognición?
2. ¿Qué modelos de procesamiento de información se han elaborado para entender la atención?
3. ¿Cómo han mejorado nuestro conocimiento de la atención las nuevas técnicas para estudiar el cerebro?
4. La atención, conforme a una teoría contemporánea, es una competición entre diferentes fuentes de información, todas ellas rivalizando por conseguir un procesamiento posterior. ¿Puede una teoría semejante explicar tanto el enfoque conductista como el cerebral de la atención?

[1] En informática, unidad mínima de información. (*N. del T.*)

# 1 Naturaleza y funciones de la atención

Aunque intuitivamente sabemos lo que significa «prestar atención» a un objeto o un suceso, el estudio de la atención tiene una larga historia, con altibajos, en la Psicología cognitiva, llena de debate y desacuerdos. Algunos han apuntado que «todo el mundo sabe lo que es la atención», otros han objetado que «nadie sabe lo que es la atención» (Pashler, 1998). Por ejemplo, Moray (1970) propuso seis significados diferentes del término *atención*, mientras que Posner y Boies (1971) sugirieron que la atención tiene tres componentes: orientación a los sucesos sensoriales, detección de señales para un procesamiento enfocado y mantenimiento de un estado de vigilancia o alerta. Otros han empleado términos como activación [«*arousal*»], *esfuerzo, capacidad, conjunto perceptivo, control* y *consciencia* como sinónimos del proceso de atención. Dificultándolo aún más, está el problema de diseñar y llevar a cabo estudios metódicos y sistemáticos de la atención, por el simple motivo de que la selección de la atención parece ocurrir de un modo tan natural y sin esfuerzo que es difícil de precisar experimentalmente.

No obstante, hay un amplio acuerdo en que la atención implica seleccionar cierta información para procesarla con detenimiento e impedir que otra información se siga procesando. Una posible forma de entender cómo esto podría producirse es indagar qué ocurre cuando falla la atención. Después de esto, analizaremos qué sucede cuando se logra la atención. Precisar los fracasos y los éxitos nos permitirá elaborar una idea más clara de lo que es la atención. Seguidamente presentaremos algunas teorías de la atención y algunos experimentos que consideran cómo opera la atención en el cerebro.

## 1.1. Fallos de selección

¿Cuando fallamos al atender a la información, qué clase de información perdemos? Un tipo de fallo ocurre cuando estamos frente a mucha información que se nos presenta simultáneamente, como en una fiesta, y simplemente no somos capaces de registrarla toda ella a la vez. Estos fallos reciben el nombre de *fallos de selección en el espacio*. También pueden darse fallos con información que se extiende en el tiempo. Cuando llega una rápida corriente de nueva información (incluso aunque sólo sea una pequeña cantidad), emplear tiempo en procesarla puede dar lugar a que pierda alguna otra información aferente, produciendo lo que se ha denominado *fallos de selección en el tiempo*. Estos fallos en atender a la información en el espacio o en el tiempo son una consecuencia de un sistema que impide que nos sobrecarguemos con información inoportuna —es decir, de un sistema de atención selectiva—. Como tales, estos fallos son una parte importante del procesamiento cognitivo efectivo y resaltan la función de la atención. Más adelante, cuando lleguemos a las teorías de la atención, será importante recordar que entender la atención tiene que ver tanto con la información que no se selecciona como con la que se selecciona. En los subapartados siguientes se darán ejemplos ilustrativos de éxitos y fracasos en la selección de la atención.

### 1.1.1. Fallos de selección en el espacio

Los fallos de selección en el espacio pueden ser de proporciones considerables. Podríamos darnos cuenta —¿verdad?—, de que alguien que nos ha parado en la calle

para preguntarnos una dirección se ha cambiado de pronto por otra persona en medio de la conversación. En realidad, no podríamos. Se han repetido muchas veces demostraciones del fallo en detectar cambios entre ráfagas visuales de una misma escena. Quizá la más espectacular fue una demostración de Simons y Levin (1998) en la cual un experimentador detuvo a peatones en el campus universitario para preguntarles por una dirección. Durante cada conversación, dos personas que llevaban una puerta se cruzaron entre el experimentador y el peatón. En el momento en que lo hacían, el experimentador cambiaba su puesto con un segundo experimentador que había permanecido oculto tras la puerta. Este segundo experimentador continuaba la conversación con el peatón. Sólo la mitad de los peatones dijeron haberse dado cuenta del cambio de interlocutor —incluso cuando se les preguntó explícitamente, «¿Se ha dado cuenta de que no soy la misma persona que le preguntó en la primera ocasión?»—. Este fallo en detectar cambios en los aspectos físicos de una escena se ha llamado **ceguera al cambio** (Simons y Rensink, 2005). Dicho fenómeno ocurre con frecuencia en el cine: errores de continuidad, como el cambio del cruasán del desayuno por una tortita en la película *Pretty Woman,* pasaron desapercibidos para la mayoría de la audiencia. También podemos no ser sensibles a cambios en modalidades diferentes a la visual. Se ha demostrado que no nos damos cuenta de cambios de voces en una escena auditiva, fenómeno que recibe el nombre de *sordera al cambio (*Vitevitch, 2003).

El hecho de que perdamos algo de información perceptiva es interesante. Más interesante aún desde una perspectiva cognitiva es la implicación de que esto no ocurre por casualidad: *seleccionamos* sólo información parcial del mundo que nos rodea y no estamos muy atentos al resto. La ceguera al cambio indica que no toda la información disponible se atiende y se representa posteriormente. Afortunadamente para nuestra supervivencia evolutiva, se puede atender y percibir bien aquellos aspectos del *input* que son más pertinentes y significativos, aunque no así otra mucha información. Rensink y colegas (1997) demostraron que los cambios de «interés central», los relacionados con el contenido temático de una escena, se detectaban mucho más rápidamente que los de «interés marginal» (Figura 3-1). Este dato sugiere que aunque extraemos los elementos más importantes del mundo visual, se pueden perder muchas de las características en que se basan.

Otra implicación más es que nuestra atención está impulsada y controlada por un procesamiento de arriba a abajo, que puede cambiar de forma flexible y dinámica; lo que es importante en un momento puede no serlo al siguiente y nuestras metas cambian conforme a ello. Si estamos hambrientos, podremos fijarnos en una cesta de fruta con un aspecto delicioso en una mesa cercana, pero si acabamos de comer, nuestra atención puede pasar por encima de ella sin apenas detenerse. El conocimiento, las creencias, las metas y las expectativas pueden alterar la velocidad y exactitud de los procesos que seleccionan la información significativa o deseada. Eso es lo que ocurre cuando echamos un rápido vistazo a un libro para encontrar una referencia en concreto y podemos saltarnos extensos pasajes de material que no es pertinente. La capacidad de utilizar un procesamiento de arriba a abajo para influir en la selección y la atención tiene un alto valor de adaptación, y tal procesamiento es un modo eficaz de extraer la información esencial de un flujo de *input.*

Sin embargo, debido a la multitud de estímulos en competición, la selección de la atención de arriba a abajo no siempre nos lleva inmediatamente a nuestra meta. Por ejemplo, en la escena inicial de la fiesta, el momento en que reconocimos que aquel destello verde era el vestido de la amiga probablemente no fue el primer momento en

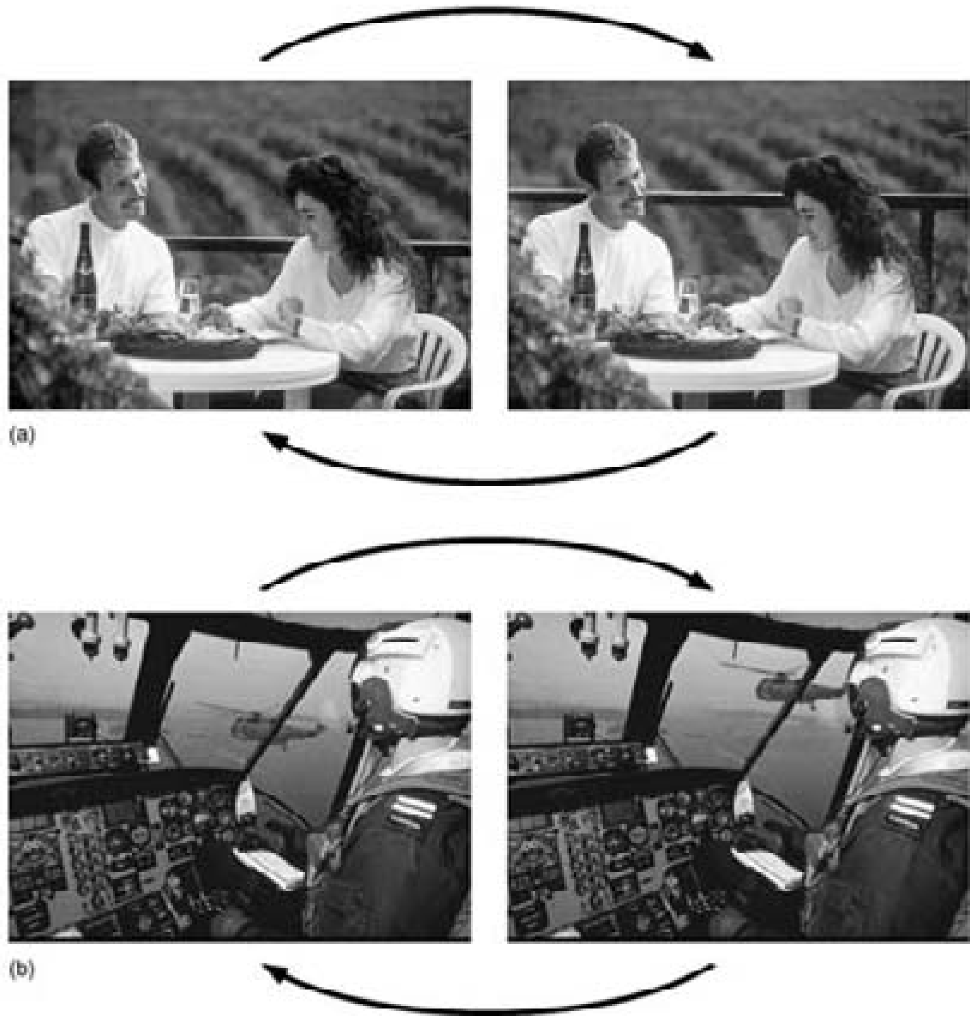



**FIGURA 3-1** Cambios de escenario

(a). Un cambio de interés secundario (la altura de la barandilla) y (b) un cambio de interés principal (la posición del helicóptero a cierta distancia). Para detectar un cambio de interés secundario, los sujetos necesitaron que se alternaran los dos fotogramas más veces y mayor tiempo en total (promedio: 16,2 alternancias y 10,4 segundos) que para detectar uno de interés principal (promedio: 4 alternancias y 2,6 segundos).
(Cortesía de Ron A. Rensink, Ph. D.)

el que aquel retazo verde apareció en nuestro campo visual, y la primera vez que escuchamos nuestro nombre posiblemente no fuera la primera ocasión en la que nuestra amiga nos llamaba. Además, en la búsqueda de nuestra amiga nos había distraído, de forma activa, el sonido de los cristales al romperse —nuestro procesamiento de arriba a abajo fue anulado por un suceso sensorial, esto es, por un procesamiento de la atención de abajo a arriba—. ¿El resultado? fallo en el espacio: la atención se apartó de la meta a la que se dirigía: encontrar a la amiga.

Asimismo pueden ocurrir fallos en la selección de información en el espacio cuando hay bastantes menos estímulos. Por ejemplo, si se nos presentan solamente dos fuentes de información simultáneamente (digamos, una comedia en la televisión y una




**FIGURA 3-2** Atención dividida

Dibujos de (a) un fotograma de una secuencia de vídeo de un juego de palmadas y (b) de un juego de baloncesto. En el fotograma (c) se muestran las dos imágenes superpuestas. Se presentó a los sujetos el montaje (c) y se les pidió que siguieran sólo uno de los juegos. Lo lograron, pero en menor medida que cuando siguieron tan sólo el de (a) o el de (b). Se comprobó que seguir simultáneamente ambos juegos, como requiere (c), es casi imposible. (Russell, J. A. y Barrett, L. F. (1999). Core affect, prototypical emotional episodes and other things called emotion: Dissecting the elephant. *Journal of Personality and Social Psychology, 76,* pp. 805- 819. Reproducido con permiso.)

noticia en un periódico) y se nos pide que procesemos las dos, puede que no seamos capaces de hacer justicia a ambas. La capacidad para atender a dos fuentes está disminuida en comparación con la capacidad de procesar información de una única fuente: hay un coste asociado a hacer ambas tareas juntas. Cuando intentamos realizar dos cosas a la vez, hay dos posibilidades: o bien seguimos perfectamente el argumento del programa de televisión y perdemos del todo la historia del periódico (o a la inversa), o bien nos perdemos partes tanto del programa como del periódico.

El hecho de concentrarse en una fuente de *input* excluyendo cualquier otra se conoce como **atención focalizada.** En casos de **atención dividida**, en la cual se atiende a más de una fuente, la información seleccionada es imperfecta (como en el ejemplo de seguir *una parte* de la historia del periódico y *una parte* del programa de televisión). Una explicación de la pérdida de información cuando se divide la atención es que las dos fuentes de información rivalizan por recursos de atención limitados, lo que en ocasiones se describe como «esfuerzo mental». Una metáfora excesivamente simplista pero útil es que cada uno de nosotros tiene un fondo de esfuerzo de la atención de la cual cada tarea «picotea». Cuanto más difícil es la tarea y cuantas más de ellas estén presentes en un momento dado, más «esfuerzo mental» se retira del fondo. Cuando la capacidad disponible es menor que la requerida para completar una tarea, los fallos son más frecuentes. Cuando las tareas son más fáciles o hay menos, se da una menor demanda de este recurso limitado.

Un claro ejemplo de lo que sucede cuando se divide la atención proviene del estudio dirigido por Neisser y Becklen (1975). Se les mostró a los sujetos de un experimento dos secuencias de video superpuestas. En una, dos personas estaban jugando a un juego consistente en que un jugador intenta dar una palmada en las manos del otro; en el otro video, tres hombres estaban lanzando una pelota de baloncesto y moviéndose alrededor de ella (Figura 3-2). Cuando se les pidió a los sujetos que siguieran uno de los dos juegos lo lograron; pero seguir los dos juegos al tiempo les fue casi imposible.

Una tarea de atención dividida como ésta, parece, a primera vista, artificial. Pero esto es exactamente lo que, después de mucha práctica con simuladores, hacen los



**FIGURA 3-3** Atención muy dividida

El personal de control del tráfico aéreo tiene que seguir simultáneamente el movimiento de muchos aviones. (Fotografía de Roger Tully. Cortesía de Getty Images Inc—Stone Allstock.)

controladores de tráfico aéreo muy experimentados, quienes tienen que controlar muchos estímulos simultáneos (Figura 3-3). Afortunadamente, los que hacen este tipo de trabajo tienen suficiente experiencia y destreza, por lo que los fallos son extremadamente raros.

### 1.1.2. Fallos de selección en el tiempo

Al igual que hay limitaciones en la cantidad de información que se puede procesar simultáneamente en el espacio, las hay en la velocidad con la que dicha información se puede procesar en una secuencia temporal. Estas limitaciones, cualitativamente diferentes, se aplican a todo el mundo.

Tal vez, el modo más sencillo de determinar cuán deprisa se puede procesar la información es pedir a los sujetos de un experimento que notifiquen cuando advierten la presencia de estímulos que se muestran en una rápida secuencia. Los investigadores interesados en el tema de las limitaciones temporales de la atención han ideado experimentos que llevan el sistema de procesamiento de la atención a sus límites. En tales

estudios (véase, p. ej., Saphiro *et al.*, 1984), se les mostró a los sujetos una tanda de letras, una de ellas (designada por los investigadores *primer objetivo*, o T1) blanca, siendo negras el resto (Figura 3-4a). En alguno de los ensayos se incluyó un segundo objetivo «X» (designado T2 y al que se alude como una *prueba*) en la tanda de letras a diversos intervalos (bien inmediatamente antes o después de una serie de letras interpuestas) después de que apareciera la letra blanca. Cada letra se mostraba en la pantalla muy brevemente, sólo 15 milisegundos; el intervalo entre letras era de 90 milisegundos. La primera parte del experimento era una tarea simple: a los sujetos se les pidió que hicieran caso omiso de T1 (la letra en blanco) e indicaran simplemente si T2 (la prueba «X») se hallaba en la secuencia de letras. El porcentaje de detecciones correctas de T2 se registró en función del tiempo transcurrido después de que T1

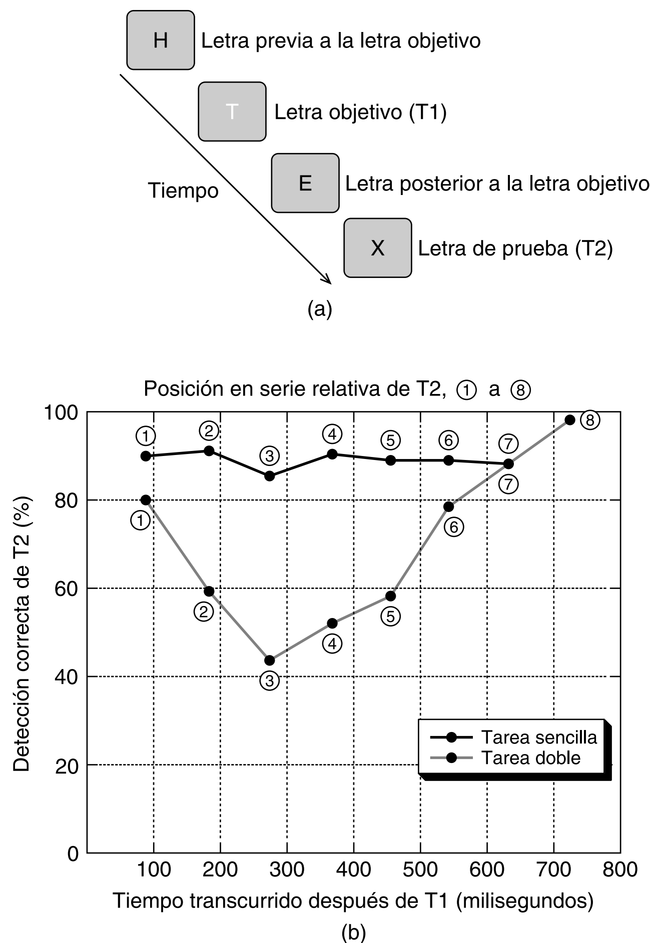



**FIGURA 3-4** Investigación del parpadeo de atención

(a) El objetivo 1 (T1) es blanco y está intercalado en una tanda de letras. La letra de prueba, la letra «X» (objetivo 2 o T2), se presenta en una posición en serie variable en la tanda después del objetivo. (b) La respuesta de los sujetos fue más exacta en la tarea simple (detectar la letra X sin tener que considerar la letra T1 en blanco) que en la tarea doble (detectar la X después de haber detectado correctamente la letra T1 en blanco). El parpadeo de atención ocurre después de 100 milisegundos y se da incluso después de un retraso de aproximadamente medio segundo —pero es más pronunciado cuando T2 se presenta unos 300 milisegundos después de T1—.

apareciese. Después, en una condición de tarea doble (condición en la cual han de realizarse simultáneamente dos tareas), se presentó a los sujetos la misma tanda de letras, pero en esta ocasión se les pidió que notificaran la presencia de T2, al igual que en el caso de la tarea simple, *y* que identificaran T1 cada vez que apareciera.

Los resultados de ambas condiciones se presentan en la gráfica de la Figura 3-4b. En la condición de tarea simple, los sujetos invariablemente detectaron T2 con independencia de cuánto tiempo después de T1 apareciera. Este resultado no es de sorprender ya que, siguiendo las instrucciones, hicieron caso omiso de T1. El hallazgo interesante es que, en las condiciones de tarea doble, los sujetos fallaron en indicar la presencia de T2 cuando ésta aparecía entre 100 y 500 milisegundos después de que hubiera aparecido T1 (recuérdese que hay otras letras intercaladas). Sin embargo, después de demoras mayores entre la aparición de T1 y la de T2, los sujetos fueron capaces de nuevo de distinguir T2. La disminución del rendimiento en señalar la aparición de T2 si aparecía en el plazo de una determinada ventana temporal tras la aparición de una T1 es un ejemplo de **parpadeo de atención.** Como sugiere el término, el parpadeo de atención es un corto periodo durante el cual la información aferente no se registra, efecto similar al borrado físico de la información visual durante el parpadeo. El fenómeno del parpadeo de atención también ocurre cuando dos sujetos (no sólo letras) se presentan en rápida sucesión (Raymond, 2003). Lo distintivo del parpadeo de atención es la pérdida de detección de un estímulo que se presenta dentro de un determinado lapso después de que se haya presentado un estímulo anterior. Cuando los estímulos se presentan tan deprisa, parece ser que la atención al primero excluye la atención al segundo —lo que demuestra el fallo en seleccionar elementos en el tiempo—.

Un efecto similar implica el fallo en la detección de objetos presentados en una rápida secuencia cuando algunos de estos estímulos son idénticos, incluso cuando los estímulos se muestran durante un tiempo lo suficientemente largo como para evitar el parpadeo de atención. Por ejemplo, Kanwisher y sus colegas (1977b) mostraron a sujetos una secuencia de nueve ilustraciones presentadas en serie con dos o tres dibujos consecutivos intercalados entre modelos visualmente «ruidosos», llamados *máscaras* (símbolos) (Figura 3-5). Al principio y al final de cada ensayo también se mostraba un gran campo de máscaras. Cada imagen se presentaba durante 100 milisegundos. El hallazgo a resaltar es que cuando el primer y tercer dibujo de la serie eran idénticos, era notablemente menos probable que los sujetos refirieran haber visto el tercer dibujo (el repetido). Esto sucedía asimismo cuando el primer y tercer dibujo representaban el mismo objeto, incluso si los objetos eran de diferente tamaño o se mostraban desde diferentes perspectivas. Sin embargo, cuando los dos dibujos eran de diferentes objetos, los sujetos no tenían problemas para identificar el tercer dibujo. El fallo en detectar la última aparición de un estímulo cuando los estímulos se presentan en una rápida secuencia se ha denominado **ceguera a la repetición** (Kanwisher, 1987).

La ceguera a la repetición puede ocurrir lo mismo para palabras que para objetos. Por ejemplo, cuando se presentó rápidamente la frase «era hora de trabajo por lo que el trabajo debía hacerse», los sujetos fallaron en detectar la segunda aparición de la palabra «trabajo» y recordaron la secuencia como «era hora de trabajo por lo que debía hacerse». (Kanwisher, 1991). La ceguera a la repetición se puede observar asimismo si figuran varias palabras entre las dos ocasiones en las que aparece la palabra repetida o incluso si están escritas en diferentes tipos de escritura («TRABAJO» y «trabajo»). Se cree que el fallo en codificar el segundo estímulo ocurre porque éste no es

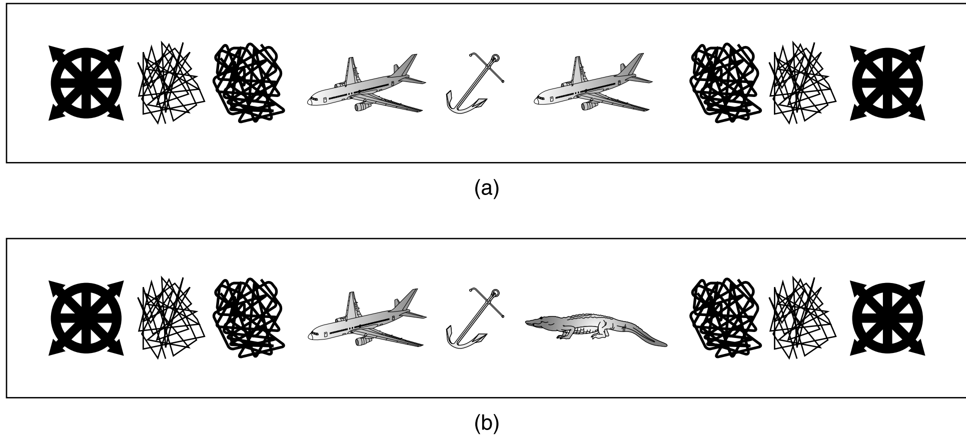



**FIGURA 3-5** Demostración de la ceguera a la repetición

Se les presentó a los sujetos símbolos y representaciones pictóricas (en el centro). (a) Cuando el primer y el tercer dibujo eran idénticos, los sujetos no lograron señalar la repetición incluso si los objetos se diferenciaban en tamaño o se mostraban desde una perspectiva distinta. (b) Cuando el primero y el tercero eran diferentes, los sujetos no tuvieron dificultades para identificarlos.

individualizado o seleccionado como un suceso distinto cuando sigue inmediatamente al primero. En vez de eso, la segunda aparición se equipara a la primera y sólo se registra un único suceso. El fenómeno de ceguera a la repetición sugiere que cuando no tenemos mucho tiempo, no formamos una segunda representación, separada, de un objeto que acabamos de procesar y que, por lo tanto, no somos conscientes de la repetición.

### 1.1.3. Fuentes de limitaciones

¿Por qué fallamos al seleccionar información en el espacio o en el tiempo? Algunos han argumentado que el fallo está en el terminal sensorial; esto es, la limitación está, literalmente, en el ojo del que mira (o, si el estímulo es auditivo, en el oído del que oye). La visión periférica humana no es muy precisa y en muchos estudios, la información que los sujetos pierden aparece en los extremos de la pantalla. Pero los fallos en seleccionar toda la información presente no se pueden explicar únicamente por el descenso de la agudeza visual respecto a la información que aparece lejos del centro del campo visual. En el estudio de Neisser y Becklen (con imágenes de secuencias de video superpuestas), por ejemplo, toda la información necesaria aparecía en el centro de la pantalla. En el parpadeo de la atención y en estudios de ceguera a la repetición, la información también se presenta en el centro del campo. Entonces, en estas circunstancias el fallo no puede deberse a una mala visión. Más bien, la limitación parece tener que ver con la *cantidad* de información. Algunos modelos proponen la idea de un **cuello de botella**, una restricción de la cantidad de información que se puede procesar de una vez. Debido al cuello de botella, ciertas operaciones mentales críticas se han de llevar a cabo secuencialmente (Pashler y Johnston, 1998).

Los estudios de atención dividida demuestran que el rendimiento se ve obstaculizado cuando se tiene que atender a dos fuentes distintas de información visual (como, por ejemplo, la pantalla del televisor y el periódico) o dos sucesos visuales distintos (por ejemplo, el juego de las manos y el de baloncesto). Hay también un coste añadido

en exactitud o en tiempo de reacción cuando se intenta realizar dos tareas al mismo tiempo. En todos estos casos, el descenso del rendimiento se denomina **interferencia por tarea doble**.

Cabría preguntarse si esta disminución ocurre porque hay demasiadas interferencias cuando la información es similar, porque toda ella es visual (o auditiva) y, simplemente, no podemos afrontar la cantidad de datos que se presentan. De hecho, hay mayor grado de interferencia cuando ambas fuentes son del mismo tipo de información que cuando son de tipo diferente (Brooks, 1968). Si se está intentando recordar una frase, realizar otra tarea verbal, tal como contar, afectará al rendimiento mucho más que intentar recordar una frase y mirar un dibujo. Por la misma razón, una tarea espacial, tal como imaginarse un mapa de EE.UU. y explorar sus fronteras reparando en qué estados son más anchos que altos, dificultará recordar un dibujo, no una frase.

Pero la limitación es más general y el fallo en seleccionar información puede darse incluso si las dos fuentes de información son de dos tipos diferentes, o incluso si la información se presenta en dos modalidades sensoriales diferentes, digamos, una auditiva y otra visual, aunque la interferencia no es tan grande como cuando los tipos de información son iguales. Algunos investigadores opinan que el alcance de la interferencia depende del alcance de la «conversación cruzada» entre la diversidad de representaciones y procesos desencadenados por la información aferente: si en dos tareas se activan representaciones y procesos similares, pueden confundirse. Por ejemplo, recordar una frase y contar implican representaciones verbales; estas representaciones pueden infiltrarse una en otra y entorpecer el proceso. Pero se da menos superposición de representaciones al recordar una frase e imaginarse un mapa de EE.UU. y, por lo tanto, se producen menos interferencias entre ellas. En el recuadro *Debate* adjunto se discute una cuestión práctica en tareas dobles.

Los cuellos de botella en la atención examinados aquí hasta ahora han sido todos ellos perceptivos: demasiados estímulos compitiendo, o menos estímulos pero del mismo tipo y por lo tanto, en competición. Un cuello de botella en atención puede ocurrir asimismo cuando, incluso con un único *input* sensitivo, los *outputs* que se precisan son demasiados. En tales casos, el cuello de botella es de naturaleza motora. Consideremos lo siguiente: acabamos de atender a una llamada telefónica. El único *input* sensitivo es el sonido de la voz del interlocutor. La llamada no es para nosotros. ¿Está por ahí cerca nuestro compañero de habitación? Hemos de comprobarlo. El que llama tiene prisa —¿podría dejar un mensaje?—Desde luego— ¿dónde hay un papel...? Y mientras lo buscamos nos perdemos el comienzo del mensaje. De acuerdo —ahora se cae el lápiz... ¡vaya por Dios, esto está durando mucho...!— Un estímulo sensitivo que requiere una gran cantidad de respuestas. Coordinarlas será difícil y se perderá parte de la información a no ser que realicemos todas las respuestas que se requieren un poco más despacio o por turnos. Como sucede en el caso de múltiples *inputs* sensitivos, coordinar dos respuestas de *output* es más difícil que dar sólo una respuesta. No es imposible hacer dos cosas a la vez y, por supuesto, lo podemos hacer mejor con la práctica, pero por lo general conlleva algún coste o fallos, incluso cuando se está cualificado.

Al igual que los fallos en la atención dividida, en los que no se presta atención a información sensorial, no se deben a una limitación en la visión, los fallos en el *output* motor cuando se intenta realizar una serie de cosas al mismo tiempo o en rápida sucesión no se deben a una limitación de la capacidad de programar los músculos para el movimiento. Volvamos por un momento a la fiesta: hemos encontrado a nuestra

DEBATE

## Coches y conversación

El uso de teléfonos móviles se ha disparado a nivel mundial en los últimos años. En estudios recientes se ha demostrado que aproximadamente el 85% de los usuarios de teléfono móvil en EE.UU. lo usa mientras conduce. Redelmeier y Tibshirani (1997) encontraron que el uso del móvil se asociaba con un aumento de cuatro veces más posibilidades de sufrir un accidente de tráfico. (Téngase en cuenta que, en muchos estados, es ilegal conducir y utilizar un teléfono móvil manual, lo que tiene sentido dado el incremento del riesgo de accidente cuando se utiliza el móvil.) Lo que no sabemos por este estudio pionero es si los accidentes ocurren con mayor frecuencia cuando se está marcando un número, cuando se está hablando, o cuando se está buscando el teléfono; es decir, si hay más interferencias de tarea doble en unas condiciones que en otras.

En estudios más recientes se ha intentado clasificar estas posibilidades. Por ejemplo, Strayer y Johnston (2001) diseñaron un experimento en el cual los sujetos emprendían una tarea de conducción simulada que requería «seguir» a un coche objetivo. Se asignó al azar a los sujetos a una de tres condiciones: durante la tarea de conducción, algunos sujetos escuchaban un programa de radio que habían elegido (grupo 1); otros hablaban por teléfono móvil de las elecciones presidenciales del 2000 o de los juegos olímpicos, usando un teléfono móvil manual (grupo 2) o un teléfono de «manos libres» (grupo 3). A intervalos regulares, destellaba una señal roja o verde; se habían instruido a los sujetos para que apretaran un botón de «freno» cuando vieran una señal roja. Los experimentadores registraron tanto el número de veces que los sujetos pasaban por alto la señal roja como el tiempo que precisaba cada individuo para apretar el botón freno.

Los resultados fueron claros: los dos grupos de usuarios de teléfono móvil pasaron por alto la señal roja el doble de veces que el grupo que escuchaba la radio; y cuando vislumbraban la señal, su respuesta (medida por el tiempo que tardaban en apretar el botón de freno) era más lenta. Este retraso en el tiempo de respuesta era más pronunciado cuando el sujeto estaba hablando que cuando estaba escuchando. La diferencia de rendimiento entre el grupo de radio y el del teléfono móvil no se pudo explicar por un nivel diferente de habilidad de conducción en los dos grupos: todos los sujetos realizaron sólo la tarea de conducción (sin móvil) y no hubo diferencias de rendimiento entre los grupos en esta condición de tarea simple. Lo que produjo la diferencia de resultados fue únicamente añadir la tarea del teléfono móvil.

¿De qué manera, en concreto, se altera la atención? En un estudio de seguimiento, Strayer, Drews y Johnston (2003) demostraron que la consecuencia de añadir la tarea de llevar una conversación telefónica a la de conducir llevó a los sujetos a retirar la atención de la escena visual. Los conductores del estudio que mantuvieron conversaciones por móvil se perdieron la información, o tuvieron un recuerdo mediocre, de la señalización vial a lo largo de la ruta. Esto puso de manifiesto que dichos conductores en realidad no miraban la información de los paneles: los movimientos oculares de los conductores que están hablando por teléfono no se dirigían a la información existente a lo largo de la ruta, incluso cuando dicha información se presentaba en el centro del campo visual y, en consecuencia, tenían un recuerdo peor de dicha información. Estos fallos para procesar y seleccionar información son muy similares a los que se han descrito en otros experimentos de fallos en seleccionar información: en todos los casos, los sujetos no pudieron asimilar toda la información existente y, por lo tanto, se centraron tan sólo en una pequeña cantidad de ella.

amiga y estamos charlando gratamente. Alguien nos ofrece un sándwich, pero tenemos un vaso en la mano derecha, la dominante en nuestro caso. Dudamos: ¿deberíamos dejar el vaso (¿dónde?) y tomar el sándwich con la mano derecha, o tomar el sándwich con la mano izquierda? La interferencia, en forma de lentitud de los actos, que aparece cuando intentamos elegir entre dos respuestas posibles incluso a un solo estímulo sensitivo, se conoce como **respuesta de cuello de botella**. El tiempo adicional que se necesita para atravesar este tipo de cuello de botella se ha medido experimentalmente. En un estudio, por ejemplo, se instruyó a los sujetos para que apretaran un botón con la mano izquierda cuando apareciera una luz en la parte izquierda de la

pantalla del ordenador; sin embargo, si sonaba un zumbido, también tenían que presionar un pedal con un pie. En los experimentos preliminares se estableció que se requerían unos 500 milisegundos para que los sujetos pisaran el pedal después de que comenzara a emitirse el sonido. Si la luz centelleaba (requiriendo la respuesta de la mano izquierda) 50 milisegundos antes de que sonara el zumbido, los sujetos tardaban incluso más de 500 milisegundos en apretar el pedal. La selección de la respuesta para la combinación zumbido-pedal no podía comenzar hasta que la selección de la respuesta para la luz se hubiera completado, lo que explica el tiempo adicional para apretar el pedal (Pashler, 1998).

### 1.1.4. Problemas de interpretación

Aunque los psicólogos cognitivos han dedicado mucho tiempo y esfuerzo a examinar la atención dividida y los costes asociados a las tareas dobles, aún quedan muchas preguntas por responder. Por un lado, los investigadores nunca pueden garantizar que dos fuentes de *input se* están atendiendo siempre simultáneamente, o que dos *outputs* se están seleccionando siempre simultáneamente, o que dos tareas se están realizando siempre simultáneamente. Incluso en condiciones en las cuales una tarea parece demandar atención constante (por ejemplo, conducir), da la sensación de que no se precisa el mismo nivel de atención en cada instante. Así pues, una estrategia efectiva para afrontar tareas múltiples podría ser simplemente cambiar deprisa, hacia adelante y hacia atrás, de una tarea (o de un *input* o de una respuesta) a otra en vez de intentar ocuparse por completo de ambas al mismo tiempo. ¿Pero, cómo elegir el momento para realizar cada una de ellas? Escuchar la radio del coche durante un tiempo, luego mirar a la carretera y después volver a escuchar la radio no es un procedimiento demasiado práctico (ni recomendable), ¡sin que importe lo breve que sea cada periodo de atención alternante! Aún no se sabe si es posible realizar dos tareas exactamente al mismo tiempo o, si lo es, qué sobrecarga significa este arreglo para el sistema cognitivo.

Un segundo problema que ha embarrado las aguas de las tareas dobles es que no es posible garantizar que cuando se hacen dos cosas al mismo tiempo éstas se realicen exactamente del mismo modo en que se harían si se hicieran por separado. Varios investigadores han sugerido que los sujetos de un estudio aprenden a reestructurar las dos tareas y combinarlas en una sola (Schmidtke y Heuer, 1997; Spelke *et al.*, 1976). Si esto es lo que ocurre en realidad y la tarea doble se convierte en una tarea simple, es difícil separarlas y cuantificar el rendimiento en cada una de ellas. Asimismo, al transformarlas, de algún modo se altera cada tarea para que sea posible combinarlas y, por lo tanto, puede que no esté justificado comparar el coste de la tarea doble con el de la tarea simple.

En cualquier ocasión, realizar dos tareas puede no ser imposible y uno puede hacerse inmune a sus efectos adversos al adquirir experiencia en una o en las dos tareas. Volvamos a la tarea doble de conducir y usar un teléfono móvil. Valiéndose de conducción simulada, los investigadores pidieron a unos conductores que condujeran con normalidad y, mientras lo hacían, realizaran una tarea secundaria como es cambiar la emisora de radio o elegir y marcar un número de teléfono en el móvil (Wikman *et al.*, 1998). Para realizar la tarea secundaria, los conductores noveles con frecuencia apartaban la vista de la carretera durante más de tres segundos cada vez, una considerable (y peligrosa) cantidad de tiempo cuando se está en una autopista. En las mismas condiciones de simulación, los conductores con experiencia sólo apartaban la vista de la

carretera durante un breve período de tiempo. Dado que tenían experiencia conduciendo y esta habilidad se había convertido en ellos en un automatismo, los conductores veteranos sabían cuánto tiempo podían dedicar a la tarea secundaria sin que eso afectara mucho a la conducción. Con la práctica y experiencia suficientes, una tarea se puede volver más automática y se observarán menos interferencias cuando se realice junto con otra.

A finales de los setenta, dos investigadores emplearon precisamente esta terminología y describieron el procesamiento como siendo o bien *automático* o bien *controlado* (Shiffrin y Schneider, 1977). Tal como sugiere nuestro ejemplo de experiencia de conducción, encontraron que las personas utilizan un procesamiento automático en tareas fáciles o muy conocidas, pero que se ven obligadas a utilizar un procesamiento controlado en tareas difíciles o nuevas. No obstante, las tareas controladas también pueden hacerse automáticas a la larga con la práctica.

### 1.1.5. Cuando falla el cerebro

Los fallos de selección descritos hasta ahora son parte integrante de la experiencia humana —todos los hemos experimentado en un momento u otro—. Pero esta pauta normal de fallos está exagerada extraordinariamente en quienes sufren **negligencia hemiespacial**, una alteración de la atención por la cual, simplemente, no se atiende a toda la mitad de una escena visual. La causa de la negligencia hemiespacial suele ser un accidente cerebrovascular que ha interrumpido el aporte sanguíneo al lóbulo parietal derecho, una región del cerebro que supuestamente juega un papel decisivo en la atención y la selección (véase la Figura 3-6a, en el Inserto a color A). Cuando se les pide a estos pacientes que copien o, incluso que dibujen de memoria, un reloj o una margarita (véase la Figura 3-6b en el Inserto a color A), no atienden (esto es, no logran seleccionar) a la información situada en el lado del espacio contrario a la localización de la lesión cerebral y, por lo tanto, no incorporan esa información a sus dibujos. Del mismo modo, cuando se les pide que hagan una marca atravesando todas las líneas que ven en una página delante de ellos, sus resultados frecuentemente muestran una clara omisión de la información del lado izquierdo: tachan las líneas desplazándose al extremo derecho como si la parte izquierda de la imagen simplemente no existiera (véase la Figura 3-6c, en el Inserto a color A). La razón del fallo en distinguir la información que está a la izquierda (el lado opuesto a la lesión) no se debe a que tengan ceguera en ese lado y no logren ver la información. Más bien, parece ser que no se orientan hacia la información del lado izquierdo de la escena que tienen delante y no le prestan atención. Si se les indica que en su dibujo falta información del lado izquierdo, pueden retroceder y completar la información que falta; pero por sus propios medios, parece que no se fijan en la información del lado izquierdo. La negligencia no se restringe a la información visual (lo que además demuestra que no es un problema visual *per se*) —estos pacientes pueden también pasar por alto sonidos o roces aplicados en el lado izquierdo, e incluso no detectar olores presentados en la fosa nasal izquierda—.

La negligencia hemiespacial puede hacer que la vida diaria sea desagradable y, en ocasiones, peligrosa. Los pacientes pueden llegar a comer sólo la comida situada en el lado derecho del plato, sin atender a la que se encuentra en el lado izquierdo y después quejarse de tener hambre. (Si se gira el plato de forma que el resto de comida quede a la derecha, el problema se resuelve.) Pueden afeitarse o maquillarse sólo la

mitad derecha del rostro. Pueden leer tan sólo la parte derecha de un texto, leyendo los titulares de un periódico:

UN SOL ESPECTACULAR REEMPLAZA LAS INUNDACIONES EN EL SUROESTE

como

INUNDACIONES EN EL SUROESTE

y pueden incluso no tener en cuenta la parte izquierda de algunas palabras situadas a la derecha, leyendo el titular como

INUNDACIONES EN EL OESTE

Pueden desatender la manga o zapatilla izquierda y dejar colgando la varilla izquierda de sus gafas (Bartolomeo y Chokron, 2001).

Quienes presentan negligencia hemiespacial sufren una alteración de las imágenes mentales así como de la percepción. Incluso cuando no hay *input* sensitivo y la imagen es producida únicamente por la memoria, el lado opuesto a la sede de la lesión cerebral es un espacio en blanco. Bisiach y Luzzatti (1978) demostraron esto preguntando a un grupo de pacientes con negligencia hemiespacial hospitalizados, todos ellos residentes en Milán, que describieran en detalle la plaza del Duomo, un lugar muy conocido de su ciudad. Dado que la plaza no estaba a la vista, esta petición requería que los pacientes generaran una imagen mental de ella para poder describirla. Aunque la información se estaba leyendo totalmente de una representación interna y no del *input* sensitivo, los pacientes describieron pocos detalles de la plaza situados en el lado del espacio opuesto a la localización de la lesión cerebral. Esto no se debía a un fallo de memoria o un olvido: los experimentadores pidieron luego a los pacientes que se imaginaran paseando por la plaza y contemplándola desde la perspectiva opuesta a la de su primera imagen mental. Una vez más, los pacientes omitieron los detalles situados en el lado del espacio opuesto al de su lesión, pero entonces describieron los edificios y las tiendas que no habían tenido en cuenta en la primera descripción. El hallazgo de que los pacientes con negligencia hemiespacial no atienden a la parte izquierda de sus imágenes mentales sugiere que la atención puede operar no sólo para seleccionar información del *input* perceptivo real sino que también puede seleccionarla de una escena que se genera internamente.

Hay algunas situaciones en las cuales la información situada a la izquierda puede captar la atención del paciente con negligencia. La información muy fuerte y destacada que aparece en el lado desatendido del *input* puede captar la atención del paciente en el modo de abajo a arriba: una luz brillante o un sonido súbito en el lado izquierdo puede hacer que ocurra. La guía del tipo de arriba a abajo puede asimismo contribuir: dar instrucciones específicas al paciente para que atienda a la izquierda puede reducir el alcance de la negligencia, pero esta guía se debe reiterar frecuentemente.

Aunque el déficit más obvio de estos pacientes es el fallo en atender a la información situada a la izquierda en el espacio, también hay pruebas de que puede haber un fallo en la selección de la información en el tiempo. Por ejemplo, Cate y Behrmann (2002) presentaron letras (como puede ser una A o una S) brevemente (exposiciones de 100 milisegundos) en la parte izquierda y derecha de una pantalla de ordenador y pidieron a un paciente con negligencia hemiespacial izquierda que dijera qué letras aparecían. Cuando se presentó una letra sólo en el lado izquierdo, el paciente identificó correctamente el 88% de las letras. Este porcentaje fue comparable al 83% notifi-

cado correctamente cuando las letras aparecieron sólo en el lado derecho, ileso. El hallazgo interesante se produjo cuando ambas letras se presentaron juntas. (En algunos pacientes es bajo estas condiciones de doble presentación cuando se manifiesta más claramente la falta de atención a la izquierda.) Si la letra a la izquierda aparecía primero y se mantenía en la pantalla unos 300 milisegundos antes de que apareciera la letra derecha, se informaba correctamente de su presencia con la misma frecuencia que cuando aparecía sola. Sin embargo, cuando la letra derecha aparecía unos 300 milisegundos antes que la letra izquierda, sólo se informaba correctamente de la presencia de esta última en un 25% de los casos. No obstante, si la letra derecha se presentaba primero, pero el tiempo suficiente —digamos, 900 milisegundos— antes de que apareciera la letra izquierda, la atracción asociada con la letra derecha aparentemente decaía y el paciente era libre de atender a la letra izquierda. En este caso, la detección volvía a ascender hasta cerca del 80%. Estos resultados recuerdan a los obtenidos en el experimento del parpadeo de la atención.

Este estudio resalta dos puntos importantes: (1) Cuando la letra izquierda está sola y no tiene un competidor a su derecha, puede superar la negligencia; (2) cuando hay un competidor a la derecha, la probabilidad de que se detecte la letra izquierda tras un corto intervalo temporal se reduce debido a que el paciente sigue atendiendo a la letra que se sitúa más a la derecha. No obstante, si transcurre el tiempo suficiente, el paciente puede atender otra vez a la letra izquierda (Husain *et al*., 1997). Dado que el tiempo también afecta al resultado, esto sugiere que mecanismos de atención espaciales (izquierda-derecha) y temporales interactúan para determinar cuánta información se desatiende.

¿Hay pacientes que no atienden a la información que aparece en el lado *derecho* después de haber sufrido un accidente cerebrovascular en el lado *izquierdo* del cerebro? Sí, pero no muchos. La explicación que se da habitualmente se basa en la mayor, y asimétrica, especialización de las áreas cerebrales en los seres humanos. En éstos, las áreas implicadas en el procesamiento del lenguaje por lo general se localizan en el hemisferio izquierdo y, en consecuencia, los procesos de atención y los espaciales pueden haberse desplazado al hemisferio derecho. Así pues, en los seres humanos las lesiones en el hemisferio derecho provocan negligencia con mayor frecuencia y con mayor gravedad que las lesiones en el hemisferio izquierdo.

## 1.2. Logros de selección

Por fortuna, el sistema normal de atención no es tan tonto como parece. A pesar de los muchos fallos de selección a los que somos propensos —los cuales pueden ocurrir porque hay demasiada información en un lugar determinado, porque demasiada información llega en rápidas oleadas al mismo tiempo, o porque nuestra atención está dividida—, hay muchas circunstancias en las que podemos elegir acertada y eficazmente la información necesaria en el *input* que se nos presenta.

### 1.2.1. Efectos endógenos y exógenos en el espacio

Cuando buscábamos a nuestra amiga en la fiesta, la búsqueda estaba afectada por dos tipos de información. Uno provenía del interior: el conocimiento del color de su vestido. El otro procedía del exterior: el sonido de los cristales al romperse. (En este caso, saber el color del vestido ayudaba; el sonido de los cristales distraía.) Se ha en-

contrado que estos dos tipos de fuentes de información determinan muy eficazmente a qué información se atiende.

Cuando entramos en la habitación, buscamos rápidamente por doquier algo verde en el conjunto de colores en el entorno y luego en el subconjunto de cosas verdes buscamos específicamente el vestido de la amiga. Este tipo de proceso de atención, que tiene un aspecto voluntario, es de arriba a abajo: proviene del *interio*r (en este caso, de nuestro propio conocimiento) y de ahí que se le llame **atención endógena**. Pero este tipo de atención dirigida a un objetivo o atención de arriba a abajo puede incapacitar: los estímulos destacados e intensos pueden captar nuestra atención y apartarnos de la tarea que teníamos entre manos. La atención así captada se describe como **atención exógena**, porque es dirigida de un modo de abajo a arriba por estímulos generados en el *exterior* de uno mismo. (Al igual que el sonido de los cristales al romperse, un color fuerte puede proporcionar una señal o pista exógena y resultar muy útil: los niños pequeños en las excursiones y los presos que realizan trabajos en el exterior suelen usar camisas de colores llamativos por la misma razón.)

Los estudios más sistemáticos que examinan las formas de atención endógena y exógena se basan en la idea de *atención encubierta*, idea desarrollada por el psicólogo y físico alemán Hermann von Helmholtz (1821-1894). Este autor demostró que aunque los ojos pueden dirigirse un punto específico, la atención visual puede dirigirse a cualquier otro punto de un modo «encubierto», esto es, sin que haya movimiento aparente de los ojos. (Helmholtz consiguió sus condiciones experimentales mediante un destello de luz, que al ser un estímulo muy destacado impidió el movimiento físico de los ojos hacia la región del espacio a la que se atendía.)

En los estudios modernos, los investigadores se han propuesto entender cómo las señales endógenas y exógenas pueden influir en el procesamiento de la información (Posner *et al.*, 1980, 1982). En un experimento, se presentan dos recuadros en una pantalla de ordenador, una situada la derecha y la otra a la izquierda de un punto de fijación central (Figura 3-7a). Una señal endógena, tal como una fecha, lleva a los sujetos a centrar la atención en esa localización, incluso mientras mantienen la mirada en el punto de fijación. La flecha es un símbolo; sólo después de que el sujeto ha entendido su significado sabe cómo cambiar la atención —y por lo tanto la atención es controlada por un proceso endógeno—. En una gran proporción de ensayos (habitualmente, en torno al 80 por ciento), designados como «ensayos válidos» un objetivo tal como una caja pequeña se presenta posteriormente en la localización señalada y los sujetos presionan una tecla de repuesta en cuanto detectan la presencia del objetivo. En los «ensayos no válidos», aparece una señal en forma de flecha apuntando en dirección opuesta a la posición del objetivo. Por último, en otros ensayos, «neutros», el objetivo aparece en la misma localización pero la fecha no da información —apunta tanto a la derecha como a la izquierda—.

Este estudio dio dos resultados principales. En primer lugar, los sujetos detectaron el objetivo más deprisa (y con más exactitud) en la condición válida que en la neutra, lo que sugiere que atender a una localización puede facilitar el procesamiento en dicha localización, incluso cuando no haya movimientos oculares. En segundo lugar, los sujetos detectaron el objetivo en la localización señalizada de forma no válida significativamente más despacio que en la condición neutra (y es obvio que más despacio que en la condición válida). ¿Qué estaba ocurriendo? La señal con la orientación «equivocada», que guiaba la atención de arriba a abajo, de modo endógeno, confundía o llevaba a conclusiones erróneas a los sujetos. El cambio subsiguiente de aten-

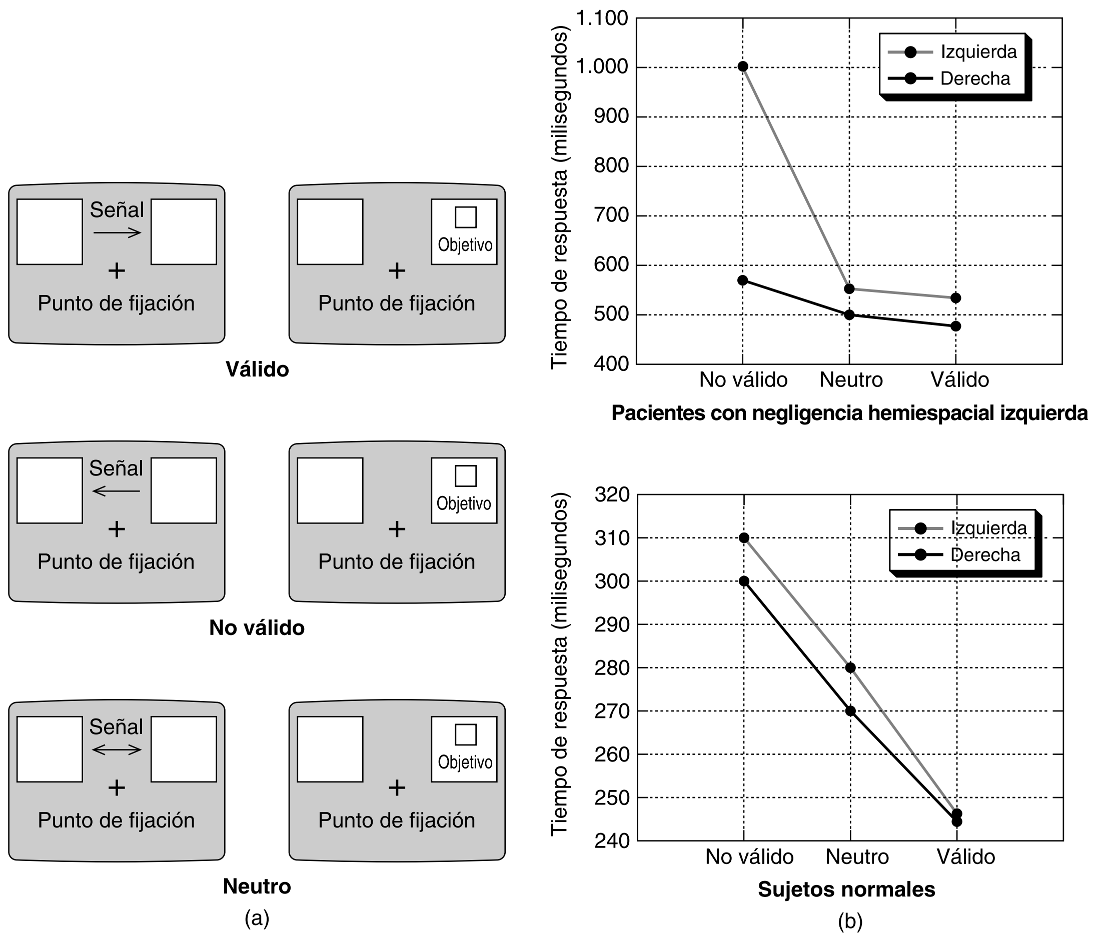



**FIGURA 3-7** Tarea de señalización endógena

(a) En el ensayo válido, la flecha de señal indica correctamente la localización del próximo objetivo. En el ensayo no válido, el objetivo aparece en el lado opuesto a la dirección señalada. En la condición neutra, la flecha tiene doble cabeza y, por lo tanto, no aporta información sobre la posible localización del próximo objetivo. Por lo general, en este tipo de experimentos hay muchas más ensayos válidos que no válidos, de modo que los sujetos se benefician de la predicción que proporciona la flecha. (b) Datos de sujetos normales y de pacientes con negligencia hemiespacial. Los resultados de los sujetos normales demuestran la ventaja —detección más rápida— que proporciona la señal válida: la detección del objetivo en esta condición es incluso mejor que en la condición neutra. Obsérvese que el tiempo de detección es más lento en la condición no válida, lo que demuestra las consecuencias de que la fecha confunda a los sujetos. No hay diferencias importantes en cuanto al rendimiento en la detección en el caso de que el objetivo aparezca en el lado derecho o en el izquierdo. La respuesta de los pacientes con negligencia hemiespacial izquierda fue bastante más lenta cuando el objetivo izquierdo estaba mal señalizado (repárese en que se requiere un intervalo más amplio en el eje de las coordenadas). En este caso, la fecha de señal apunta a la derecha y la atención se dirige a la derecha. Cuando el objetivo aparece en el lado izquierdo, al que no atiende el paciente, su detección del objetivo es muy lenta.

ción al otro lado la pantalla les llevaba tiempo. En sujetos normales, este pauta de costes y beneficios es aproximadamente la misma, ya sea que el objetivo aparezca a la derecha o a la izquierda del punto de fijación (Figura 3-7b). Los datos de pacientes con negligencia hemiespacial muestran una pauta muy diferente (Figura 3-7b).

Asimismo la atención es facilitada por una señal válida e inhibida por una no válida cuando la señal es exógena. Un ejemplo: en esta ocasión se presentan dos recua-

dros en la pantalla y uno brilla momentáneamente, presentando una llamativa señal de abajo a arriba. Entonces, el objetivo (p.ej., un pequeño cuadro blanco, como el de la Figura 3-7a), aparece tanto en el recuadro señalado como en el no señalado. En la condición neutra, ambos recuadros brillan. La atención es dirigida automáticamente al lado de la pantalla en la que está el llamativo recuadro brillante. Al igual que con las señales endógenas, los sujetos detectan el objetivo más rápidamente cuando aparece en la localización indicada por la señal (la condición válida) y lo detectan más lentamente en la condición no válida.

Aunque el patrón de resultados es muy similar en los casos endógeno y exógeno, hay una diferencia. En la versión exógena, la atención puede ser dirigida rápida y automáticamente hacia la fuertemente destacada señal brillante y no se precisa tiempo extra de procesamiento. Pero servirse de la señal de la fecha en la versión endógena requiere que los sujetos procesen la señal perceptivamente, entiendan lo que implica y luego usen esta información de un modo de arriba a abajo. Si aparece la flecha e inmediatamente después el objetivo, los sujetos no muestran el beneficio ni el coste de la presencia de la señal. Si se les da tiempo suficiente (quizá 150 milisegundos) para procesar y aplicar la información aportada por la señal, la facilitación y la inhibición se hacen evidentes.

Estos estudios demuestran cumplidamente que la facilitación y la inhibición de la detección están influenciadas tan sólo por hacia dónde se dirige la atención, sin que haya movimientos oculares manifiestos. Resultados más recientes sugieren que a pesar de ser posible bajo condiciones experimentales (como las aquí descritas) disociar la atención encubierta y los movimientos oculares, en circunstancias más naturales las dos están estrechamente relacionadas e incluso pueden basarse en la misma red cerebral subyacente (Corbetta y Shulman, 2002). De hecho, algunos investigadores han sugerido que el acoplamiento de la atención y los movimientos oculares es particularmente ventajoso: la atención puede primero explorar la escena visual y después se pueden mover los ojos a las regiones que contengan información particularmente útil o destacada (Hoffman y Subramaniam, 1995).

### 1.2.2. Componentes de la atención

¿Qué sucede cuando pacientes con negligencia hemiespacial realizan esta tarea de atención con señalización? En un estudio, pacientes con lesiones en el lóbulo parietal derecho, muchos de los cuales también sufrían negligencia hemiespacial, detectaron los objetivos válidos normalmente en el lado derecho no desatendido, y casi normalmente en el lado izquierdo desatendido (Posner *et al.*, 1987). Esto es, podían seguir beneficiándose de la señal aunque su rendimiento era un poco peor cuando el objetivo aparecía en el lado desatendido, y esto sucedía tanto si la señal era endógena como si era exógena. En los ensayos no válidos, cuando la señal aparecía en el lado izquierdo desatendido o señalaba hacia él pero el objetivo aparecía en el lado derecho no desatendido, los pacientes detectaban el objetivo más despacio que en los ensayos válidos. La duración del retraso, sin embargo, estaba dentro del intervalo normal. Como se ha visto, en los sujetos sin enfermedad neurológica también se observó un coste en el tiempo de reacción en los ensayos no válidos. El resultado a destacar es que en los ensayos no válidos en los cuales la señal se encontraba en el lado derecho no desatendido (o apuntaba hacia él) y el objetivo aparecía en el lado izquierdo desatendido, los pacientes con daño cerebral necesitaban alrededor de 500 milisegundos adicionales para detectar el objetivo.

Los hallazgos obtenidos en pacientes con daño cerebral llevaron a Posner y colaboradores a construir un modelo de la atención que implica tres operaciones mentales distintas: liberar la atención de la localización en la que está fijada, cambiar la atención a una nueva localización y dedicar la atención a una nueva localización para facilitar el procesamiento en dicha localización (Posner, 1990; Posner y Cohen, 1984). En el caso de pacientes con lesión en el hemisferio derecho, el modelo sugiere que cuando la señal dirigía la atención al lado derecho no desatendido y el objetivo aparecía en el lado izquierdo desatendido, los pacientes tenían problemas para liberar la atención del lado derecho intacto, y este déficit producía la marcada lentitud del tiempo de detección del objetivo. Se hizo evidente un problema de «no liberación» de los objetivos en el lado no desatendido cuando la señal que les precedía indicaba el lado desatendido. Así pues, en este modelo hay varios subcomponentes de la atención y los resultados indican que el lóbulo parietal (especialmente el derecho) juega un papel decisivo en uno de ellos.

Resulta interesante que Posner y sus colegas hallaron otros grupos de pacientes que aparentemente tenían dificultades tanto para las operaciones de «cambiar» como las de «dedicar» la atención, postuladas en su modelo. En una investigación, pacientes con daño en el mesencéfalo que sufrían un trastorno llamado *parálisis supranuclear progresiva* al parecer no tenían problemas con las operaciones de «liberar» o «dedicar» la atención (Posner *et al*., 1985). Más bien, eran lentos en responder a objetivos señalizados en la dirección en la cual tenían dificultades de orientación, lo que sugiere un problema para *cambiar la atención* a la localización señalizada. Por otra parte, los pacientes con lesiones en el núcleo pulvinar, una parte del tálamo (estructura subcortical) eran lentos para detectar tanto los objetivos señalizados válidamente como los señalizados inválidamente que aparecían en el lado del espacio opuesto al de su lesión cerebral, pero su rendimiento era bueno cuando los objetivos aparecían en el lado no afectado (Rafal y Posner, 1987). Estos resultados hicieron que los investigadores sugirieran que los pacientes con lesión en el tálamo no podían *dedicar la atención* al lado afectado. Los diferentes modelos de rendimiento que manifestaron estos tres grupos de pacientes apoyan la idea de que la atención puede descomponerse en tres funciones distintas (liberar, cambiar, dedicar) y que cada una de ellas puede ser afectada selectivamente dependiendo de las estructuras cerebrales que estén dañadas (para obtener una panorámica general, véase Robertson y Rafal, 2000)

### 1.2.3. Vínculos modales cruzados

Aunque muchos estudios se han centrado en los efectos de la atención en la visión, también hay datos a favor de que es posible encontrar efectos facilitadores e inhibidores en todas y cada una de las diferentes modalidades sensitivas. Una vez que localizamos visualmente a nuestra amiga en la fiesta, repentinamente la escuchamos decir nuestro nombre, pero parecía que llevaba cierto tiempo llamándonos. ¿Por qué el verla hizo su voz más audible?

Una serie de experimentos ha demostrado que existe *priming*[2] entre distintas modalidades tanto bajo condiciones endógenas como exógenas (Driver y Spence, 1998; Kennet *et al*., 2002). (Como se explicó en el Capítulo 2, el *priming* ocurre cuando un estímulo o una tarea facilita el procesamiento de un estímulo o una tarea posterior.)

[2] Estimulación previa o sensibilización. (*N. del T.*)

En un diseño experimental, los sujetos sostenían estimuladores táctiles que podían vibrar ya fuera en el pulgar o en el índice de cada mano. Se colocaron cuatro diodos emisores de luz en localizaciones correspondientes en el espacio. Cuando se pidió a los sujetos que indicaran la localización del estímulo táctil, la presencia de un destello visual no informativo en el mismo lado del espacio aceleró las respuestas. En la condición contraria sucedió lo mismo: un estímulo táctil aleatorio sensibilizó las respuestas a objetivos visuales situados en el mismo lado. Cuando los sujetos cruzaron las manos, se encontró que el *priming* estaba alineado con el espacio externo (esto es, la mano izquierda cruzada al lado derecho del cuerpo sensibilizó la detección de un estímulo visual en la derecha.) Estos efectos se han encontrado también entre estímulos auditivos y táctiles, así como entre estímulos auditivos y visuales.

Se han observado efectos similares de señalización cuando los sujetos esperan que aparezca en una localización un estímulo de una modalidad sensitiva y aparece un estímulo inesperado en el mismo lugar del espacio, pero de una modalidad diferente. Por ejemplo, cuando esperan un estímulo visual a la derecha, los sujetos son más rápidos en detectar un suceso táctil aleatorio en ese lado del espacio que uno a la izquierda. Este hallazgo sugiere que dirigir la atención a un lado del espacio para una modalidad lleva automáticamente a atender a dicha localización también para otras modalidades.

### 1.2.4. Atención basada en el objeto

En la vida estamos rodeados de objetos de todo tipo, animados e inanimados, y la atención se dirige a ellos, así como a ubicaciones en el espacio y a posiciones en una secuencia temporal. Estudios recientes de la atención basada en el objeto demuestran que cuando la atención se dirige hacia un objeto se seleccionan simultáneamente todas las partes de dicho objeto para procesarlas (véase, p. ej., Jarmasz *et al.,* 2005). Un ejemplo que nos es familiar: pensamos en nuestra amiga de verde como un único objeto (y sin duda, ya que es una amiga, como algo mayor que la suma de sus partes). Cuando nos centramos en ella, sería más probable que nos fijáramos en el reloj de su muñeca, puesto que es parte de ella, que en el reloj de cualquier otra persona situada a su lado, incluso si dicha persona hubiera estado tan cerca de nosotros como ella —ese otro reloj forma parte de un objeto diferente—.

Muchos estudios de la atención basada en el objeto demuestran que un objeto y sus partes y características asociadas se seleccionan juntos. En uno de los estudios más conocidos (Duncan, 1984) los sujetos veían en el centro de una pantalla de ordenador un recuadro rectangular con una hendidura en un lado y una línea trazada a través del recuadro (Figura 3-8). Cuando se les dijo que juzgaran dos aspectos de un único objeto —si el recuadro era grande o pequeño con relación al marco de la pantalla o si la hendidura estaba en el lado derecho o en el izquierdo—, la exactitud de la respuesta fue alta. De hecho, los sujetos respondieron tan bien al dar cuenta de las dos características como cuando se les pidió que juzgaran un solo aspecto, el tamaño del recuadro *o* el lado en el que estaba la hendidura. Se obtuvieron resultados similares cuando se les pidió a los sujetos que juzgaran dos aspectos de la línea —¿era una línea vertical o inclinada, de trazo lleno o punteada?—. En otra circunstancia, las dos opiniones que se pidieron a los sujetos se referían al recuadro *y* a la línea; por ejemplo, al tamaño del recuadro y al tipo de trazo de la línea. En dicha ocasión, aunque no se pedían más de dos opiniones, la exactitud de las respuestas disminuyó significativamente.

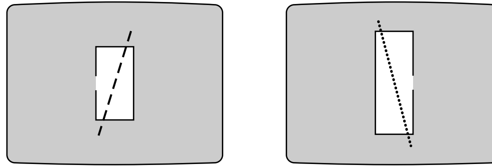


**FIGURA 3-8** Demostración comportamental de la atención basada en el objeto

Éstos fueron los estímulos que se utilizaron para examinar si dos características pertenecientes al mismo objeto se procesan mejor que dos características de diferentes objetos (ver detalles en el texto). El rendimiento de los sujetos fue mejor cuando las dos características pertenecían al mismo objeto, lo que prueba un procesamiento de atención basado en el objeto, en el cual la selección de una característica de un objeto lleva automáticamente a seleccionar las otras características del objeto.

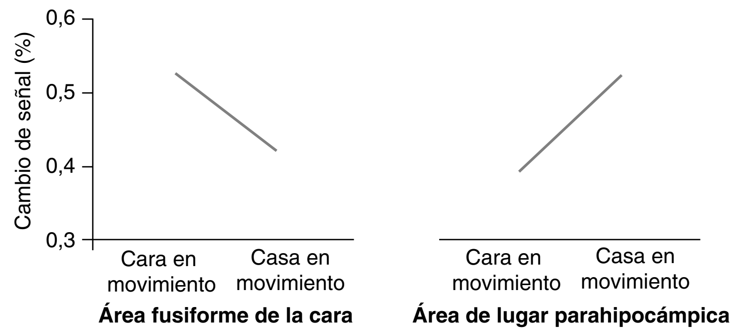
(Duncan (1984). Imagen tomada de Palmer, S. E. (1991). *Vision Science: Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: The MIT Press. Reproducido con permiso.)

Lo importante de este estudio es que ambos objetos, recuadro y línea, estaban superpuestos uno sobre otro en el centro de la pantalla, ocupando por lo tanto la misma ubicación espacial. Los resultados obtenidos en el caso de un objeto (recuadro *o* línea) y de dos objetos (recuadro *y* línea) no se pueden explicar por una atención preferente a una ubicación determinada en el espacio. En cambio, el resultado es compatible con la idea de la atención basada en el objeto. Al parecer, nuestro sistema perceptivo puede encargarse bastante bien de dar dos criterios cuando la atención se centra en un único objeto. Sin embargo, cuando se ha de dividir la atención entre dos objetos diferentes, hacer dos juicios se vuelve muy difícil y el rendimiento se resiente notablemente (esto es similar al coste que ocurre en las condiciones de tarea doble). Dichos hallazgos apoyan la idea de que la atención se puede dirigir a un único objeto y atender a todas las características de dicho objeto.

Los estudios de neuroimagen han confirmado estos resultados conductuales: cuando se atiende a un aspecto de un objeto, forzosamente se selecciona el objeto completo y todas sus características (O'Craven *et al.*, 1999). En un estudio se mostró a los sujetos dibujos de una cara semitransparente superpuesta sobre una casa semitransparente y se les pidió que centraran la vista en un punto del centro de las imágenes superpuestas (Figura 3-9). En cada ensayo, cambiaba la posición o bien de la cara o bien de la casa. Se les pidió a los sujetos que se fijaran sólo en la casa, sólo en la cara o en el cambio de posición, y se registró mediante resonancia magnética funcional (RMf) su grado de activación cerebral. Este estudio sacaba partido del hecho de que diferentes regiones del cerebro responden más a casas o edificios (el área de lugar parahipocámpica), a caras (el área fusiforme de la cara) y al movimiento (área TM). Si la atención se dirigiera a una localización espacial, podríamos haber esperado ver activación en las tres regiones cerebrales, correspondientes a los tres tipos de estímulo, dado que los tres aparecían en la misma región del espacio. Sin embargo, si el atender selectivamente a uno de estos atributos de un objeto mejora asimismo el procesamiento de otros atributos del mismo objeto, entonces cabría esperar una mayor activación del área del cerebro que representa los atributos del objeto seleccionado presentes al mismo tiempo. Y, efectivamente, ése fue el caso. Cuando se atendía selectivamente al movimiento no sólo se activaba el área TM, tal y como se esperaba, sino que también lo hacía el área que representa el objeto al que se atiende (cara o casa). Así, por ejemplo, el área de la cara de la circunvolución fusiforme se activaba cuando la cara se movía, en comparación con cuando estaba estática, aunque la cara en sí misma no fuera el



(a)




(b)

**FIGURA 3-9** Apoyo de la RMf para la atención basada en el objeto

(a) Ejemplo de estímulos superpuestos utilizados en un experimento de RMf para investigar el efecto de la atención a rostros y a casas en la activación de regiones cerebrales que se suponen especializadas en el procesamiento de uno u otro de estos estímulos. (b) Cambios en el nivel de activación del área fusiforme de la cara y en el área de lugar parahipocámpica cuando los sujetos atendían al movimiento y el objeto en movimiento era una cara o era una casa.

(Downing, P., Liu J., y Kanwisher. N. Testing cognitive models of visual attention with fMRI and MEG. *Neuropsychologic* 2001; 39 (12): 1329-42.)

objeto de atención preferente. Lo mismo sucedía en el área de lugar parahipocámpica cuando se movía la casa. Esto sugiere que en la atención al objeto se seleccionan simultáneamente más de una característica (por ejemplo, casa y movimiento o cara y movimiento) y las áreas neurales correspondientes reflejan esta activación conjunta.

Los datos de estudios de sujetos con daño cerebral apoyan también la idea de la atención basada en el objeto. Aunque se piensa que la negligencia hemiespacial es predominantemente un fallo del procesamiento en el cual la atención al lado izquierdo del espacio tras una lesión en el hemisferio derecho es manifiestamente deficiente, se ha comprobado que también se desatiende el lado izquierdo de objetos individuales. En un estudio de pacientes con negligencia (Behrmann y Tipper, 1994; Tipper y

Behrmann, 1996) se les enseñó a los sujetos imágenes esquemáticas estáticas de una barra de pesas con cada extremo de un diferente color (Figura 3-10). Se les pidió a los sujetos que presionaran una tecla cuando detectaran el destello de una pequeña luz blanca, ya fuera en el extremo derecho o izquierdo de la barra. Como se esperaba de los pacientes con negligencia hemiespacial izquierda, la detección del destello en el extremo izquierdo fue peor que cuando éste tenía lugar en el derecho. Pero, ¿esto se debía a que el objetivo aparecía en la parte izquierda del *espacio* (negligencia basada en el espacio) o a que el objetivo aparecía a la izquierda del *objeto* (negligencia basada en el objeto)?

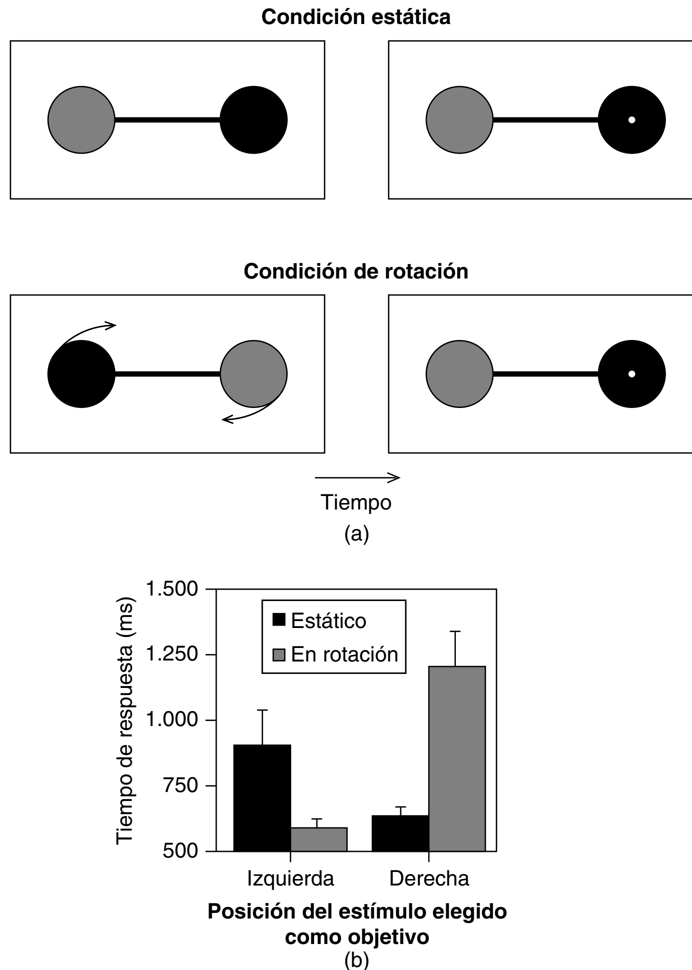



**FIGURA 3-10** Demostración de negligencia hemiespacial basada en el objeto

Panel con barra de pesas utilizado para evaluar la negligencia respecto al extremo izquierdo de un objeto sencillo en personas con una lesión en el hemisferio derecho y negligencia del lado izquierdo (ver texto para más detalles). (b) El resultado decisivo: en comparación con la condición estática, el rendimiento en condiciones de rotación es peor (esto es, el tiempo necesario para detectar el estímulo de prueba es mayor) cuando el estímulo de prueba aparece en el lado derecho del espacio y mejor cuando aparece en el lado izquierdo. La disminución del rendimiento en el lado derecho del espacio y su mejora en el izquierdo se atribuye al hecho de que el estímulo de prueba aparezca a la izquierda y a la derecha, respectivamente, del *objeto*.

(Modificado de Behrmann, M. y Tipper, S. (1994). Object-based attention mechanisms: Evidence from patients with unilateral neglect. En: Imilta, C. y Moscovitch, M. (eds.), *Attention and Performance XV: Conscious and Nonconscious Processing and Cognitive Functions*. Cambridge, MA: The MIT Press. Reproducido con autorización)

En una segunda condición experimental, mientras los pacientes observaban, la barra de pesas giraba de tal manera que el extremo izquierdo original (identificado por su color) aparecía en la parte derecha del espacio y el extremo derecho se situaba en la izquierda. Sorprendentemente, cuando el objetivo —el destello de luz— aparecía en el lado «sano» de los sujetos, la parte derecha del espacio (pero en el extremo de la barra que previamente había aparecido a la izquierda), los sujetos precisaron más tiempo para detectar su presencia. El hecho de que la detección fuera más deficiente en el caso de rotación posiblemente ocurrió porque el objetivo coincidía con lo que había sido el extremo izquierdo de la barra. De modo similar, cuando el objetivo aparecía en la izquierda del espacio, el rendimiento era mejor que en la condición estática, ya que éste coincidía con el extremo derecho del objeto. Otro, e importante, descubrimiento fue que cuando los dos círculos que representaban los extremos de la barra de pesas no estaban conectados por un barrote, la detección de los sujetos de los objetivos situados a la derecha fue siempre correcta mientras que la detección de los objetivos a la izquierda fue siempre deficiente. En otras palabras, la negligencia no basada en el objeto ocurría probablemente porque los dos círculos ya no se percibían como dos extremos de un único objeto; por lo tanto, sólo operaba la atención basada en el espacio —no la basada en el objeto—.

Un caso incluso más extremado de selección basada en el objeto —o más bien, de su deficiencia— se puede ver en pacientes con el síndrome de Balint (para más información sobre este síndrome, véase Rafal, 2001). Dicho trastorno neurológico es consecuencia de un daño bilateral (esto es, en los dos lados del cerebro) en la región parietoccipital, a veces denominado simultagnosia. (La *agnosia* es un déficit del reconocimiento; la *simultagnosia* es la incapacidad de reconocer dos objetos al mismo tiempo.) Los pacientes con síndrome de Balint desatienden a la totalidad del objeto, no sólo a uno de los lados del objeto como ocurre en la negligencia hemiespacial. Este trastorno afecta a la selección de objetos completos, independientemente de en qué parte de la pantalla aparezcan dichos objetos, y puede no prestarse atención a todo un objeto (el dibujo de una línea) incluso si ocupa la misma posición espacial que el dibujo de otro objeto. Estos pacientes pueden percibir tan sólo un objeto cada vez; es como si un objeto captase la atención e impidiera el procesamiento de cualquier otro.

No obstante, el fallo en seleccionar más de un objeto se puede reducir si los objetos se agrupan perceptivamente. En un estudio de este tipo (Figura 3-11), Humphreys y Riddoch (1993) hicieron que dos pacientes con simultagnosia miraran una pantalla de exposición con círculos coloreados (cada uno de ellos, un objeto). En algunos ensayos los círculos eran todos del mismo color, mientras que en otros la mitad eran de un color y la otra mitad de otro. Se pidió a los pacientes que dijeran si los círculos de la pantalla eran todos del mismo color o de dos colores diferentes. En algunas pantallas los círculos no estaban conectados (condición aleatoria); en otras, círculos del mismo color estaban conectados mediante líneas, y en otras (condición simple) estaban conectados círculos de diferentes colores (condición mixta). En las pantallas de círculos desconectados, a los pacientes les resultaba difícil juzgar el color, especialmente cuando había dos círculos de diferente color —simplemente, había demasiados objetos—. Sin embargo, si dos círculos de diferente color formaban un único objeto gracias a una línea que los conectara, se atenuaba parte de la dificultad de prestar atención a cada círculo por separado y los pacientes obtenían mejores resultados en la condición mixta que en las otras dos condiciones. El coste de dividir la atención entre

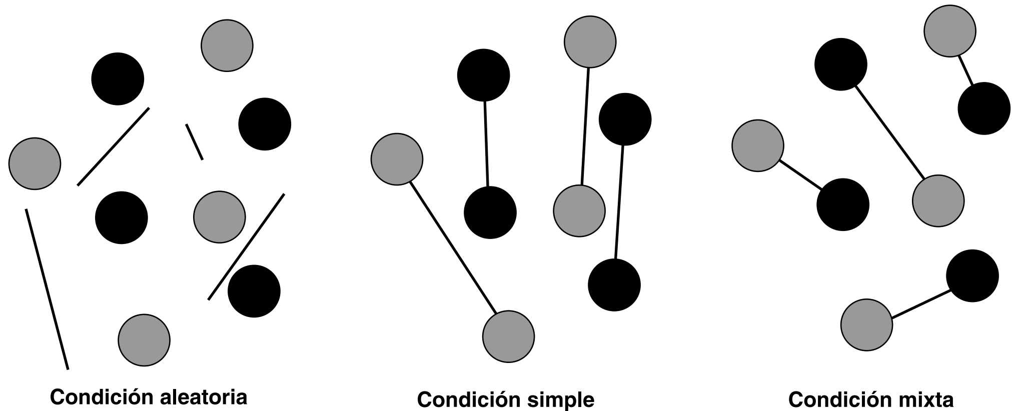



**FIGURA 3-11** Simultagnosia

Los pacientes con simultagnosia sólo pueden atender a un único objeto al tiempo; a estos pacientes les puede ayudar que la información de la escena visual esté unida formando un único objeto. Se mostró a los sujetos paneles con círculos de dos colores diferentes, algunos con elementos inconexos (condición aleatoria), otros con elementos vinculados según su color (condición simple) y otros en los que estaban conectados círculos de diferente color (condición mixta). Unir los círculos (convirtiéndolos así en un solo objeto) hizo que fuera más fácil para estos sujetos realizar la tarea de decidir si había uno de dos colores; la mejora más pronunciada del rendimiento se dio cuando estaban unidos círculos de dos colores diferentes (condición mixta).

círculos de diferente color se reducía cuando estos círculos estaban unidos conformando un único objeto, y esta mejora era más espectacular que en las condiciones aleatoria o simple.



### *Control de comprensión*



1. La selección de la información puede fallar cuando hay demasiada información en un momento dado o cuando la información llega más rápido de lo que se puede procesar. ¿Puede dar algunos ejemplos de fallos en el espacio y en el tiempo?
2. ¿Cuáles son las diferencias entre las formas de atención endógena y exógena?

## 2 Explicar la atención: teorías del procesamiento de la atención

«Prestar atención» abarca procesos dinámicos que implican realzar o seleccionar determinada información e inhibir otra. La atención se puede considerar como un mecanismo que controla el procesamiento de modo que no nos abrume un exceso de información. Factores endógenos, como el conocimiento y las metas de cada uno, y factores exógenos, como lo destacado de la información externa, pueden influir en la selección. ¿Pero, cómo opera la atención? Una serie de teorías diferentes sobre el procesamiento de la información han intentado comprender la dinámica de los efectos de la atención. Aunque ninguna de estas teorías puede explicar todos los fenómenos de atención que se han descrito aquí hasta ahora, las teorías ofrecen conocimientos importantes de los principios que subyacen a los efectos de la atención.

## 2.1. Selección de la atención inicial frente a selección tardía

Casi todos los experimentos aquí descritos indican que sólo podemos atender a parte de la información sensitiva que nos rodea y no a toda ella. En términos de procesamiento de información, este aspecto selectivo de la atención es a menudo consecuencia de una capacidad de canal inadecuada o de una limitación fundamental del flujo de información. Una pregunta posible es ¿cuándo ocurre la selección, en una fase inicial o en una fase tardía del procesamiento?, ¿dónde se encuentra el cuello de botella?, ¿cuánta información y qué clase de ella se procesa antes del cuello de botella y cuánta y de qué clase después? Éste es, esencialmente, el problema de la «selección de la atención inicial frente a selección tardía».

El psicólogo británico Donald Broadbent (1926-1993) estaba a favor del punto de vista de que la selección se efectúa en una fase inicial del procesamiento. Propuso un modelo del sistema de atención que contiene un canal de capacidad limitada a través del cual sólo podía pasar una cierta cantidad de información (Broadbent, 1958). Consideraba que los muchos *inputs* sensitivos que pueden pasar a las fases más tardías de procesamiento tenían que ser cribados para permitir que sólo pasase a ellos la información más importante. En su opinión, en una fase inicial del procesamiento, la información pasa por un muy breve almacenamiento sensitivo en el cual se analizan las características físicas del *input*: en la modalidad visual, estas características son el movimiento, el color, la forma y la localización espacial; en la modalidad auditiva, el tono, el volumen y, también en este caso, la localización espacial. Broadbent defendía que el cuello de botella se sitúa inmediatamente después del almacén sensitivo y que sólo una pequeña cantidad de información, seleccionada por razón de sus características físicas, pasaba a su través para un procesamiento semántico adicional.

Las ideas de Broadbent fueron bien recibidas en su época: daban una explicación satisfactoria de una serie de datos empíricos. Algunos de estos datos habían sido presentados por E. Colin Cherry (1953), otro psicólogo británico, quien reclutó voluntarios para participar en un experimento auditivo. Usando una técnica llamada *escucha dicótica* (cuyo sentido literal es «escuchar con los dos oídos»), presentó *inputs* lingüísticos en competición a través de auriculares a los dos oídos de los sujetos. Por ejemplo, el oído derecho podía recibir: «el motor del barco a vapor resonaba en el puerto» mientras que el oído izquierdo recibía simultáneamente: «el patio de recreo estaba lleno de niños». Cherry indicó a los sujetos que «persiguieran», es decir, que siguieran y repitieran tan rápido como les fuera posible una de las corrientes del *input lingüístico* y no atendieran a la otra. Encontró que los sujetos no recordaban lo que se había presentado en el oído al que no habían atendido; de hecho, ni siquiera se percataron de si en el mensaje desatendido se había cambiado de idioma o se reproducía hacia atrás. No obstante, sí se daban cuenta de que el sexo de quien hablaba era diferente o que el discurso se convertía en un tono puro.

Los resultados de Cherry (1953) son coherentes con la teoría del cuello de botella de la selección inicial: los *inputs* desatendidos se filtran y se admite el paso de las señales a las que se atiende en función de sus características físicas. Se atendía a los cambios de aspectos físicos del estímulo, pero si no había tales cambios, el estímulo podía ser tanto atendido como filtrado. Coincidiendo con el postulado de que los estímulos desatendidos se filtran, los sujetos no se percataron de que se reproducía 35 veces la misma lista de palabras en el oído desatendido. El fallo en detectar las listas repetidas de palabras indica que las señales desatendidas no se procesaron a

fondo y que los sujetos no tenían una representación de las palabras ni de su significado.

Pero una cantidad considerable de datos sugiere que la teoría de la selección inicial no puede explicar toda la historia. Sólo una teoría de selección tardía —la cual sostiene que, antes del cuello de botella, se procesa perceptivamente *toda* la información para determinar las características físicas *y* el contenido semántico— puede explicar el hallazgo de que parte de la información *podría* detectarse en el canal desatendido aún cuando no hubiera un cambio de sus características físicas. Esto era especialmente cierto si la información era destacada e importante para el sujeto. Escuchar, pese al estrépito de la fiesta, a nuestra amiga llamarnos por nuestro nombre es un buen ejemplo de cómo puede seguir detectándose información a la que no se atiende pero que es de alta prioridad. Escuchar nuestro nombre en una fiesta ruidosa es un buen ejemplo de este fenómeno, que se conoce como el **efecto cóctel.** Conforme al enfoque de la selección inicial, el efecto cóctel no sería posible; pero sin embargo existe. Puesto que ahora parecía que los *inputs* desatendidos podían inmiscuirse y captar la atención, se tuvieron que modificar las ideas de Broadbent.

Una serie de estudios que utilizaron la escucha dicótica aportaron más pruebas a favor de la selección tardía. En uno de ellos (Treisman, 1960), se presentó un mensaje diferente en cada uno de los oídos de los sujetos. Pero el contenido lógico de cada mensaje era confuso: el oído izquierdo escuchaba: «si usted está batiendo mantequilla y *piccolos*, *clarinetes y tubas raramente ejecutan un solo*», el oído derecho escuchaba: «Muchos instrumentos orquestales, tales como el *azúcar, es una buena idea utilizar una velocidad baja en la batidora*». A los sujetos se les dijo que siguieran la pista del oído derecho, pero algunos tuvieron que cambiar de canal para seguir el significado: refirieron una frase coherente relativa a una orquesta y creían que habían seguido todo el tiempo el oído correcto.

La idea de la selección tardía también se examinó presentando a los sujetos su propio nombre en el canal desatendido, un equivalente controlado del efecto cóctel (Wood y Cowan, 1995). Aproximadamente un tercio de los sujetos dijeron haber escuchado su propio nombre (y ninguno dijo haber escuchado un nombre diferente). Este hallazgo es difícil de conciliar con el enfoque de la selección inicial; también es difícil acoplarlo completamente con el enfoque de la selección tardía, dado que sólo un tercio de los sujetos detectaron su nombre en el canal desatendido. Una explicación posible es que este tercio cambiara en ocasiones su atención al canal desatendido. Esto puede ser lo que pasó en realidad: cuando Wood y Cowan dijeron a los sujetos antes de tiempo que estuvieran preparados para recibir nuevas instrucciones durante la tarea, el 80% de los participantes oyeron entonces su nombre en el canal desatendido. Este hallazgo debilita la teoría de selección tardía y sugiere que los sujetos pudieron, por una razón u otra, cambiar su atención al otro canal pese a las instrucciones.

¿Cómo se pueden hacer coincidir estos diversos resultados? Una sugerencia es que tiene que haber algún tipo de análisis, o filtro, antes del cuello de botella, de modo que el propio nombre o cualquier otra información destacada pueda atravesarlo (Moray, 1970). Entre los argumentos en contra, otra sugerencia mantiene el punto de vista de que la selección inicial requiere tan sólo una pequeña modificación (Treisman, 1969): que en el «diccionario», o almacén léxico, de cada persona algunas palabras tienen un umbral de activación más bajo que otras. Así, la información sigue pasando pronto, pero las palabras que el oyente conoce bien se detectan con mayor facilidad y

requieren menos análisis —y por lo tanto la información que atraviesa el filtro es suficiente—. Así pues, parecería que el nombre de uno mismo o el grito de ¡fuego! pasan a través del cuello de botella y captan la atención del oyente. Asimismo, puede que también lo atraviesen y lleguen a la consciencia palabras que son altamente probables dado el contexto semántico (como la palabra *piccolo* dicha poco después de *instrumentos*).

## 2.2. Teoría del foco de luz

Al igual que un foco ilumina la información con su haz de luz, según esta orientación la atención espacial lleva selectivamente a la consciencia la información que se encuentra dentro de una región circunscrita del espacio, mientras que es más probable que no se preste atención a la información que se sitúa fuera de esa región. Esta metáfora, hasta cierto punto, es operativa.

Coincidiendo con la idea de que se puede realzar la localización espacial cuando se encuentra bajo y alrededor del foco, era más probable que los sujetos que deletrearon correctamente las letras que aparecían en múltiples localizaciones del campo visual tuvieran más probabilidad de realizar satisfactoriamente una tarea de discriminación de la orientación cuando las formas a discriminar aparecían cerca de las letras. Estos datos (Hoffman y Nelson, 1981) sugieren que la información se realza cuando aparece cerca de la posición actual del foco de luz.

Pero la metáfora del foco de luz no es resistente. Para empezar, una serie de experimentos, discutidos anteriormente, han demostrado que la atención puede dirigirse a un solo objeto, incluso si se superpone sobre otro objeto, destruyendo la idea de que un «foco de luz» de atención pone de relieve la información que se halla en una región determinada del espacio. Si esto fuera cierto, todos los objetos se seleccionarían conjuntamente, pero sabemos que puede seleccionarse un objeto preferentemente. Otro problema es que el modelo del foco de luz asume que el haz de atención barre el espacio. Si eso fuera lo que sucede, cabría esperar que cuando un obstáculo interfiriera en el curso del barrido, la atención sería captada u obstaculizada por dicho obstáculo. Pero esto no es así. En un estudio que investigó este supuesto (Sperling y Weichselgartner, 1995) los sujetos supervisaron una tanda de *dígitos* que aparecían en un punto de fijación. Al mismo tiempo, tenían que atender a una rápida sucesión de *letras* cambiantes que aparecían a la izquierda del punto de fijación y decir cuando aparecía la letra «C». Ocasionalmente aparecía otro carácter entre el punto de fijación y la corriente de letras a la izquierda —es decir, este carácter interfería en cualquier «haz de luz del foco»—. Pero esta «interferencia» no produjo diferencias: apareciera o no la información que interfería, el tiempo que se precisaba para detectar una letra «C» era el mismo. Dichos resultados sugieren que la atención no está influida por la presencia de información que interfiere espacialmente, como podía esperarse de un modelo del foco de luz.

Más que concebir la atención cómo un foco de luz donde la información situada fuera de la región seleccionada simplemente se ignora, los estudios más recientes han empezado a describir la atención como un proceso dinámico en el cual la selección de la información se acompaña automáticamente de una inhibición activa de otra información. Así pues, más que como un foco de luz, la atención se puede entender como un sistema competitivo en el que sintonizar algo produce la inhibición de información con la que compite. Atender a cosas de color verde llevará a una inhibición de cosas

de otros colores (ayudándonos a encontrar nuestra amiga en el ejemplo de la fiesta), atender a un único objeto, como por ejemplo a una persona, resultará en inhibición de otras personas u objetos, atender detenidamente a la música puede inhibir hasta cierto punto información visual no relacionada. Por consiguiente, la atención es un proceso dinámico de «tire-empuje»que implica tanto un aumento como una disminución de la probabilidad de que ciertas localizaciones u objetos se procesen en detalle. Estas ideas se elaboran más exhaustivamente en el apartado final de este capítulo.

## 2.3. Teoría de la integración de características y búsqueda guiada

Esta teoría, que hace hincapié en ideas muy diferentes a las de cuello de botella, filtros y focos de luz, se ocupa principalmente del papel que desempeña la atención seleccionando e integrando información compleja. Este asunto se ha investigado en particular en experimentos que utilizan una tarea de búsqueda visual. Siguiendo este diseño experimental, se presenta una muestra en una pantalla de ordenador y se les pide a los sujetos que busquen un elemento, el objetivo, y que presionen una tecla de respuesta cuando lo encuentren. Por ejemplo, a los sujetos se les puede pedir que busquen un círculo en un expositor como el que se representa en la Figura 3-12a. En una serie de ensayos diferentes, los sujetos pueden buscar el círculo de color en un expositor como el de la Figura 3-12b. Intentémoslo: la diferencia entre estos dos tipos de ensayos se hará evidente de inmediato. Es extremadamente fácil localizar el objetivo en la figura de la izquierda, pero en el expositor de la derecha resulta más difícil. Muestras como la de la izquierda se llaman pruebas de **búsqueda de disyunción** (o **de característica**). En estas pruebas, el objetivo se diferencia de los otros caracteres o símbolos —los elementos de distracción— en una única característica, como puede ser la forma (un círculo entre cuadrados). Un **elemento de distracción** es un estímulo no pertinente que se supone ha de ignorarse. Muestras como la de la Figura 3-12b son pruebas de **búsqueda de conjunción**, en las cuales el objetivo se define por una combinación de características —aquí, el color (gris frente a blanco) y la forma (círculo frente a cuadrado)—.

La prueba que hemos realizado con la Figura 3-12 nos sugerirá sin duda que la búsqueda de disyunción es por lo general más fácil. Estamos en lo cierto. Incluso el hecho de aumentar la cantidad de elementos en la muestra de búsqueda de disyunción no hace que sea más lento el tiempo necesario para detectar el objetivo —la búsqueda se puede hacer rápidamente y sin esfuerzo—. El objetivo parece saltar hacia nosotros.

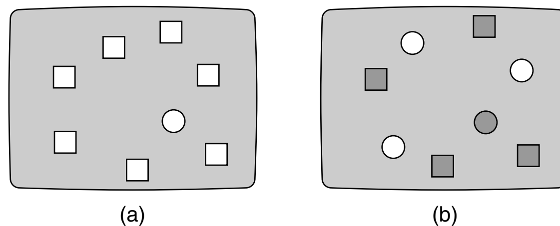



**FIGURA 3-12** Selección e integración de información compleja

Representaciones esquemáticas de (a) una pantalla de exposición de búsqueda visual disyuntiva y (b) otra de búsqueda visual conjuntiva. ¿En cuál es más fácil encontrar el elemento «desparejado»?

Este tipo de búsqueda se ha descrito como *previa a la atención*, es decir, ocurre antes de que se le dedique atención. Puesto que el objetivo resalta independientemente de la cantidad de elementos que contenga la muestra, es probable que la búsqueda se lleve a cabo de forma paralela a través de toda ella; esto es, se evalúan todos los elementos al mismo tiempo. Sin embargo, en la búsqueda de conjunción ha de atenderse y evaluarse individualmente cada elemento para decidir si es o no es el objetivo. El hecho de añadir más elementos en la búsqueda de conjunción nos retrasa marcadamente y, de hecho, se requiere un incremento adicional de tiempo para detectar el objetivo cada vez que se incorpora un nuevo elemento al conjunto. Debido a que se tiene que examinar cada elemento en serie para ver si tiene la combinación de atributos que se requiere, el tiempo necesario para encontrar el objetivo aumenta espectacularmente cuando se incrementa el número de elementos de distracción.

La diferencia cognitiva entre la búsqueda de disyunción y la de conjunción está bien plasmada en la *teoría de la integración de características* (TIC) (Treisman y Gelade, 1980). Según la TIC, el sistema perceptivo se divide en dos mapas diferentes, cada uno de los cuales registra la presencia de diferentes características visuales: color, bordes y formas. Cada mapa contiene información acerca de la localización de las características que representa. Por lo tanto, el mapa de formas que se expone en la Figura 3-12a contendría información sobre algo de una forma determinada situada a la derecha de la pantalla. Si sabemos que estamos buscando un objetivo definido por esa forma, tan sólo tenemos que recurrir al mapa de formas, que contiene todas aquellas presentes en el conjunto. La forma que estamos buscando intencionadamente resaltará en este mapa de formas y se avanzará a buen ritmo en la detección del objetivo, independientemente de la cantidad de elementos de distracción con otra forma. La búsqueda de un objetivo conjuntivo, sin embargo, requiere la consulta conjunta de dos mapas, el mapa de formas y el mapa de colores. La TIC sugiere que se requiere la atención para comparar el contenido de los dos mapas y que actúa como una especie de adhesivo para unir las características no relacionadas de, por ejemplo: el «colorido» (gris) y la «circularidad» para dar lugar a un círculo gris.

La teoría de integración de características ha esclarecido otros aspectos del modo en que opera la atención en la búsqueda visual. Un dato importante es que se puede buscar más deprisa la *presencia* de una característica que su *falta*. Los sujetos de un estudio pudieron encontrar la «Q» (que básicamente es un círculo *con* un apéndice) entre las «O» de la Figura 3-13a mucho más deprisa que la «O» (básicamente, una Q *sin* apéndice) entre las «Q de la Figura 3-13b. De hecho, el tiempo de búsqueda del objetivo «O» aumentó notoriamente cuando incrementó el número de «Q» que distraen, pero dicho tiempo *no* incrementó cuando se añadieron más «O» que distraen al conjunto alrededor de la «Q» (Treisman y Souther, 1985).

También apoyan la TEC algunos tipos de errores que ocurren cuando se sobrecarga la atención o falla la selección. Por ejemplo, en ocasiones los sujetos hacen **uniones ficticias**, es decir, combinaciones incorrectas de características. Por ejemplo, si los sujetos dicen qué elementos hay en la Figura 3-12b y el panel de exposición se presenta muy brevemente, pueden decir que hay un cuadrado blanco. Esta respuesta, que combina incorrectamente características («colorido» y «cuadratura») presentes en el panel, sugiere que estas características se registran por separado pero que no se ligan de forma adecuada. Cuando se sobrecarga la atención o las características no se seleccionan juntas, las características aisladas permanecen desligadas y pueden adjudicarse incorrectamente a otras características (Treisman y Schmidt, 1982).

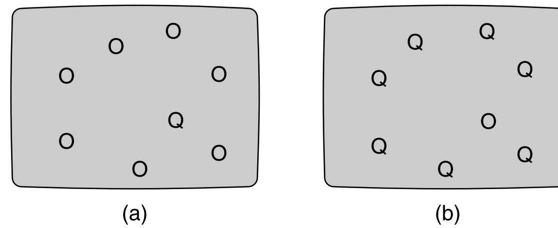



**FIGURA 3-13** Buscar algo que falta

Representaciones esquemáticas de una pantalla de búsqueda visual en la que la característica crítica está (a) presente o (b) ausente en el objetivo. Los sujetos opinaron que detectar la «Q» entre las «O» —el elemento *con* una característica (una prolongación)— llevaba menos tiempo que encontrar la «O» entre las «Q» —el elemento *sin* una característica—.

¿Apoyan los estudios del cerebro la diferencia entre procesos de conjunción y de disyunción? Algunos estudios de neuroimagen han indicado que diferentes tipos de características en realidad son registrados por mecanismos neurales en parte distintos, tal como supone la teoría de integración de características. Pero la evidencia no es indiscutible y algunos datos procedentes de pacientes con negligencia hemiespacial desafían a la TIC. Los pacientes con negligencia hemiespacial no logran tener en cuenta la información del lado del espacio opuesto al de su lesión; se ha asumido que el déficit consiste en un fallo en atender a ese lado. Según la TIC, la búsqueda de disyunción es previa a la atención y no promueve atención, mientras que la búsqueda de conjunción sí lo hace. Si esta distinción es válida, entonces se podría predecir que los pacientes con negligencia serían capaces de realizar correctamente búsquedas de disyunción, incluso cuando el objetivo aparezca en el lado desatendido. Los datos sugieren que esto no es cierto. Berhrmann y colaboradores (2003) examinaron el rendimiento de búsqueda visual de un numeroso grupo de pacientes de negligencia en la tarea de búsqueda de las «Q» y las «O», cambiando el número de elementos del panel de uno a 16 elementos. Tal y como se esperaba, los pacientes emplearon mucho tiempo, en comparación con los sujetos del grupo de referencia, para detectar la presencia de la «O» entre las «Q» en el lado derecho del panel (recordemos que ésta es la búsqueda más difícil, la de la *falta* de una característica). También tenían dificultades para encontrar la «Q» entre las «O» cuando el objetivo «Q» se localizaba en la izquierda del panel. Para estos pacientes, la «Q» no resaltaba: o bien no lograban localizar el objetivo o les llevaba mucho tiempo hacerlo, lo que sugiere que incluso la búsqueda de disyunción puede requerir atención y que la distinción entre «previo a la atención» y «durante la atención» en estos tipos de búsqueda no se puede mantener.

Por añadidura, incluso los estudios comportamentales realizados con sujetos sin una enfermedad neurológica han encontrado que algunas combinaciones se pueden detectar más fácilmente de lo que predice un modelo de búsqueda en serie estricta (Nakayama y Silverman, 1986). En consecuencia, se propuso una nueva teoría, la de *búsqueda guiada* (Wolfe, 2003; Wolfe *et al*., 1989). Como su nombre indica, el *output* de una primera etapa del procesamiento de la información guía los mecanismos posteriores de búsqueda en serie. Aunque la primera etapa se parece a la que considera la TIC en que se construye a partir de diferentes mapas de características, difiere en que los elementos que posiblemente no sean el objetivo, se eliminan en paralelo en los mapas de características. En el ejemplo de la Figura 3-12, el procesamiento en el mapa de características de color calificaría todos los elementos blancos como elementos

de distracción y todos los elementos grises como posibles objetivos. La misma clase de clasificación ocurriría en cuanto a los cuadrados frente a los estímulos circulares en un mapa de características de forma. Así pues, en el momento en que la información alcanza la segunda etapa, la de la atención, la cantidad de objetivos candidatos ya se ha reducido mucho en comparación con el número total de elementos que poseen una de las características del objetivo. La búsqueda guiada da cuenta de una búsqueda relativamente eficaz de objetivos de conjunción, al permitir que la información de la etapa de búsqueda, previa a la atención de características, reduzca la cantidad de elementos sobre los que tiene lugar la búsqueda en serie que requiere atención.



## *Control de comprensión*



1. ¿Cuáles son las diferencias entre un enfoque del foco de luz de la atención y uno de integración de características?
2. Distinga entre «atención que opera inicialmente» y «atención que operación tardíamente» y ponga ejemplos de estudios que apoyen cada una de estas dos hipótesis.

# 3 Una mirada al cerebro

El estudio de la cognición se ha convertido en un verdadero tema candente en el siglo XXI, debido a una serie de fructíferos estudios de las bases neurales de la atención. Estos, a su vez, han ampliado nuestro conocimiento de los mecanismos que dan lugar a la atención. Por ejemplo, en la actualidad es un dato comportamental bien establecido que cuando la atención se dirige a una localización, la percepción de esa información mejora. Hasta hace muy poco, sin embargo, no se sabía si esto se debía a que el objetivo en la localización señalizada se procesaba de un modo más eficaz en las áreas visuales del cerebro, o a que el sistema motor estaba predispuesto a producir respuestas más rápidas. Ambas son explicaciones razonables del hallazgo de una detección más rápida del objetivo. Para seguir estudiándolo, los investigadores han llevado a cabo estudios sobre la atención con animales y seres humanos, empleando varios métodos biológicos.

## 3.1. Electrofisiología y atención humana

A finales de los sesenta se desarrolló una tecnología que permitió a los investigadores registrar con una precisión considerable las variaciones de actividad eléctrica generadas por el cerebro. Aunque se sabía que el cerebro emite débiles ondas en respuesta a un estímulo, previamente no había sido posible promediar estas diminutas señales y relacionarlas específicamente con el procesamiento de dicho estímulo. Con electrodos más sensibles situados en el cuero cabelludo y ordenadores más potentes para realizar los cálculos se pudo llevar a cabo el trabajo. Gracias a los avances tecnológicos se hizo posible distinguir entre los potenciales provocados (PP)[3] —el cambio en la activi-

[3] O potenciales evocados («*event-related-potentials*»). (*N. del T.*)

dad eléctrica que tiene lugar como respuesta a un estímulo— y los diferentes tipos de actividad cerebral que están ocurriendo en todo momento. Los investigadores pudieron entonces explorar los mecanismos neurales asociados con varios procesos cognitivos, incluyendo el fenómeno de la atención selectiva.

El principal resultado de estos estudios con PP fue que dirigir la atención hacia un estímulo resulta en un aumento de la amplitud de la onda en un plazo tan breve como 70 o 90 milisegundos después de la aparición del estímulo. Estos cambios se registran en la primera onda positiva, P1, en las regiones laterales occipitales del cuero cabelludo (en lo que respecta al sistema visual) y sugiere que la atención mejora el procesamiento inicial de los estímulos visuales en el cerebro, lo que lleva a una mejor detección perceptiva de los estímulos del objetivo al que se atiende. Por ejemplo, en un estudio en el que se registraron los PP durante tareas que implicaban señalización de la atención encubierta (como las que se representan en la Figura 3-7) se halló una diferencia en la forma de la onda P1 (y también en la primera onda negativa, N1) entre los ensayos señalizados y los no señalizados con respecto a los objetivos tanto en el campo visual derecho como en el izquierdo. Se registraron PP sensitivos más amplios en las etapas iniciales del procesamiento visual cuando los objetivos estaban en localizaciones señalizadas (Mangun y Hillyard, 1991). El hecho de atender a una localización, aparentemente incrementó la cantidad de procesamiento visual, dando lugar a una señal PP de mayor amplitud. Un incremento similar en el PP sensitivo ocurre cuando la atención es llevada por factores exógenos a una localización si el objetivo aparece en el plazo de 300 milisegundos tras la señal exógena. De nuevo, una onda occipital inicial es reforzada, lo que coincide con un refuerzo del procesamiento visual del objetivo.

Considerándolos en conjunto, estos resultados sugieren que la atención exógena, automática, y la atención endógena, voluntaria (en otras palabras, formas de atención de abajo a arriba y de arriba a abajo) comparten, al menos, algunos procesos subyacentes; una implicación que resulta coherente con los datos comportamentales revisados anteriormente. Además, la ampliación de las ondas iniciales en la corteza occipital coincide con la idea de que la selección ocurre pronto en la corriente de procesamiento y que las señales sensitivas aferentes pueden resaltarse en una fase inicial como resultado de la atención. Pero, como se verá más adelante, cierto procesamiento de la atención puede ocurrir asimismo posteriormente.

Resulta interesante señalar que, al igual que los vínculos modales cruzados benefician a las tareas comportamentales, las interacciones entre diferentes áreas sensitivas primarias, puestas de manifiesto por los estudios con PP, tienen efectos similares. Por ejemplo, prestar atención ya sea a un estímulo auditivo o táctil que aparece en un lado del espacio tiene como resultado un refuerzo del PP registrado en los primeros 200 milisegundos en los electrodos correspondientes a las áreas visuales primarias. Así pues, atender a un lado del espacio en el ámbito táctil *o* el auditivo produce automáticamente un aumento de atención a la información visual en ese lado. Este resultado indica que cuando un suceso destacado tiene lugar en una localización determinada y en una modalidad sensitiva, la atención espacial se dirige asimismo a dicha localización con respecto a otras modalidades (Eimer y Driver, 2001; Eimer *et al*., 2002). Esto parece ser un modo muy eficaz de establecer conexiones en el sistema de la atención, y el resultado en una fiesta multitudinaria es que cuando avistamos a nuestra amiga estamos más capacitados para escuchar y localizar el sonido de nuestro nombre.

## 3.2. Neuroimagen funcional y estimulación magnética transcraneal

Los datos aportados por los estudios con PP sido muy útiles para demostrar que durante las primeras fases del procesamiento cortical tiene lugar cierta modulación de la atención, y para mostrar semejanzas entre la señalización endógena y la exógena, así como entre el ámbito auditivo, el visual y el táctil. Se han podido recoger estos datos gracias a la precisión temporal de la técnica de PP, que permite registrar los cambios de las ondas cerebrales a lo largo del tiempo incluso en un plazo de milisegundos. Pero el método de PP no es tan bueno para indicar exactamente qué región del cerebro es responsable de la generación de las ondas cerebrales. Dado que los electrodos se colocan en la cabeza y los potenciales se registran en la superficie del cuero cabelludo, nunca se puede estar completamente seguro de la localización de la región cerebral que produce los potenciales. Las técnicas de neuroimagen funcional ofrecen una buena aproximación complementaria: su precisión, o resolución temporal no es tan buena como la que se consigue mediante métodos de PP, pero su precisión espacial es mucho mejor. Los dos métodos principales de neuroimagen funcional, la tomografía por emisión de positrones (TEP) y la resonancia magnética funcional (RMf), miden el flujo sanguíneo o el metabolismo en regiones muy delimitadas del encéfalo. Su empleo en estudios de atención puede demostrar las consecuencias regionales de atender a un estímulo. (Para una descripción más detallada de los aspectos metodológicos, véase el Capítulo 1, apartado 4).

En uno de los primeros estudios de TEP, se pidió a los sujetos que cambiaran su atención de un punto a otro —en este caso, recuadros alineados horizontalmente a través del campo visual— y que apretaran un botón cuando el objetivo apareciera en uno u otro de los recuadros (Corbetta *et al.*, 1993). Los experimentadores encontraron que el lóbulo parietal superior (esto es, la parte de arriba) del hemisferio derecho se activaba consistentemente durante los cambios de atención en comparación con los períodos en los que se mantenía la mirada fija en el centro de la pantalla (Corbetta *et al.,* 1993, Vanderberghe *et al.*, 2001). La participación del lóbulo parietal superior resultó también evidente en otro estudio de búsqueda visual, en especial cuando el objetivo contenía una combinación de características. Aunque otras regiones del cerebro, incluyendo los ganglios basales, el tálamo, la corteza de la ínsula, la corteza frontal y el cíngulo anterior, también mostraban un aumento de actividad durante el cambio de atención en tareas de búsqueda visual, el lóbulo parietal parecía desempeñar el papel principal.

Otro diseño experimental utilizó TEP para supervisar la activación cerebral a medida que los sujetos exploraban una imagen para detectar un cambio, ya fuera de color, movimiento o forma (Corbetta *et al.*, 1900). Además de la corteza parietal, las áreas cerebrales asociadas con el procesamiento del movimiento se activaron cuando los sujetos atendían al movimiento. Del mismo modo, cuando los sujetos atendían al color se activaban las áreas del cerebro asociadas con el color. Lo importante de esta correspondencia es que demuestra que aunque la corteza parietal juega un papel importante, está íntimamente relacionada con otras áreas cerebrales que reflejan la modulación de la atención en las características pertinentes de una muestra.

Los estudios de la atención se han ido haciendo cada vez más sofisticados y ha habido intentos de diferenciar los procesos neurales asociados con diferentes formas de atención. Por ejemplo, Corbetta y Shulman (2002) demostraron que se recurre a dife-

rentes sistemas neurales cuando la atención se dirige a una localización antes de que aparezca un estímulo (una condición endógena) y cuando aparece un estímulo destacado inesperado (una condición exógena) y se dirige hacia otro lugar la atención del sujeto. Encontraron que, en casos de orientación endógena de la atención, participaba una red neural formada por áreas frontales y parietales dorsales (incluyendo el surco intraparietal, SIP; el lóbulo parietal superior, LPS, y los campos oculares frontales, COF). Buscar a nuestra amiga en una habitación llena de gente implica volver a orientar voluntariamente la atención, lo cual activaría esta red fronto-parietal de áreas cerebrales. Por otra parte, se encontró que efectos que involucran mecanismos de atención exógenos, como los debidos al ruido desagradable de los cristales al romperse, activan un sistema más ventral que incluye a la unión parieto-temporal (UPT) y a la corteza frontal ventral. Los autores plantearon la hipótesis de que este último sistema participa en la detección de información destacada imprevista o de nueva información. Los dos sistemas se describieron como funcionalmente independientes, pero interactivos (Figura 3-14). La información procedente del sistema ventral puede interrumpir el procesamiento en el sistema fronto-parietal voluntario y cambiar la orientación de la atención hacia el estímulo destacado, en un sentido de procesamiento de abajo a arriba (al igual que nos atrajo el sonido de los cristales al romperse). A la inversa, la información relativa a la importancia de un estímulo procedente del sistema voluntario puede modular la sensibilidad del sistema ventral, proporcionando un modo de arriba a abajo a nuestras intenciones o metas para influir en cuán fuertemente nuestro sistema de atención será distraído por información exógena.

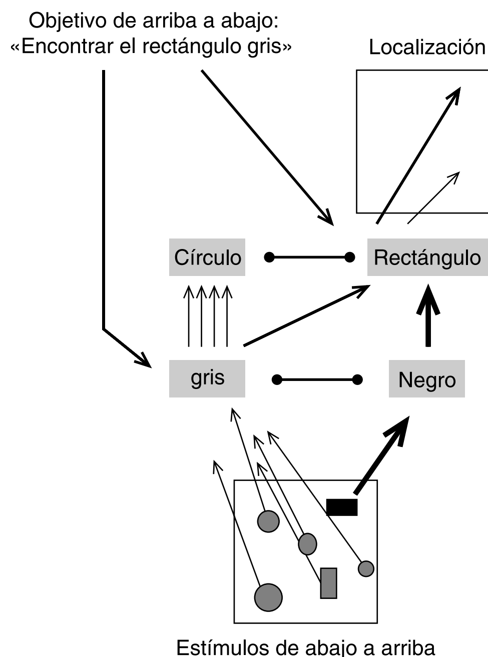



**FIGURA 3-14** Interacción de los sistemas de atención

¿Dónde está el rectángulo gris? Encontrarlo requiere la interacción de sistemas de atención de «arriba a abajo» (endógenos) y de «abajo a arriba» (exógenos). Las flechas indican activación; las líneas con puntos en sus extremos indican inhibición.

La idea de que la atención opera en el tiempo al igual que en el espacio —de lo que hay evidencia conductual, procedente de estudios sobre el parpadeo de atención y la ceguera a la repetición— se basa en datos de neuroimagen. Hemos estado buscando a nuestra amiga infructuosamente durante algún tiempo. ¿La hemos perdido?, ¿se ha ido? Algunas personas están empezando a dejar la fiesta. A medida que cada vez más gente empieza a recoger sus abrigos, estamos más pendientes de localizar un retazo verde. Tales expectativas de aparición de un estímulo en el tiempo se han reflejado también en la activación de áreas fronto-parietales, lo cual sugiere que la red neural de atención voluntaria funciona tanto temporal como espacialmente (Coull *et al.*, 2000; Wojciulik y Kanwisher, 1999). Es probable que no sorprenda el hecho de que tras un daño en esta región los pacientes no sólo sean incapaces de atender a información en el lado opuesto a la lesión (como sucede en la negligencia hemiespacial), sino que también lo sean de atender a información que se presenta en una rápida secuencia temporal.

Los datos derivados de una técnica completamente diferente, la estimulación magnética transcraneal (EMT), han confirmado asimismo el papel decisivo que juega la corteza parietal en la atención. Esta técnica, que también se estudió en el Capítulo 1, permite pasar un campo magnético a través de las neuronas de una región concreta del cerebro, produciendo en dichas neuronas un estado en el cual se las inhibe de ser activadas por estímulos aferentes. Dicha técnica, que se utiliza con sujetos sin enfermedad neurológica, induce de hecho una «lesión» temporal en cerebros sanos que dura unos cuantos segundos o minutos (sin consecuencias demostrables después de que se haya realizado el estudio). Los estudios con EMT en sujetos normales pueden, por lo tanto, considerarse análogos a los estudios realizados en pacientes con daño en regiones específicas del cerebro (como los pacientes con negligencia hemiespacial). Cuando se aplica EMT a la corteza parietal derecha de sujetos normales, éstos precisan más tiempo para realizar una búsqueda de conjunción, pero no para una búsqueda de características simples (Ashbridge *et al.*, 1997). (Recuérdese que antes en este capítulo se mencionó que las búsquedas de conjunción, pero no las búsquedas de características simples, requieren atención). Es de resaltar que este aumento del tiempo de búsqueda tras la EMT puede suprimirse ejercitando a los sujetos en tareas de búsquedas de conjunción (Walsh *et al.*, 1998), quizá por que se hacen más automáticas y requieren menos atención. Otro estudio con EMT en el cual se alteraba el funcionamiento del SIP en uno u otro hemisferio cerebral, dio como resultado una disminución de la capacidad de detectar estímulos en el lugar del espacio opuesto al lugar del cerebro dónde se aplicó la EMT; pero esto sólo sucedía cuando se presentaban dos estímulos, uno a la derecha y otro a la izquierda (Hilgetag *et al.*, 2001). En conjunto, estos estudios parecen apoyar la idea de que la región superior y posterior de los lóbulos parietales están implicadas en los cambios de la atención y que el daño de estas áreas produce una predisposición a que la atención se dirija al lado del espacio que supervisa el hemisferio «intacto», como sucede en la negligencia hemiespacial.

Los estudios con PP apoyan en gran medida la selección inicial y la mejora del procesamiento en la corteza visual durante los períodos de atención; los estudios de TEP y de RMf indican que otras muchas áreas de la corteza también se activan durante la atención. Esto incluye a la corteza parietal y la corteza frontal; los estudios de neuroimagen muestran asimismo activación en la corteza occipital, confirmando los estudios con PP (Gandhi *et al.*, 1999). El mensaje más importante de estos estudios es que en la atención no sólo interviene una única área del cerebro. Antes bien,

la atención se ejecuta mediante un amplio y distribuido circuito al que contribuyen diferentes regiones del cerebro. La «atención» implica selección, la cual puede ocurrir en etapas iniciales, tardías o en ambas, y puede ser desencadenada por nuestra voluntad o por la fuerza de estímulos ambientales y a partir del espacio, los objetos o el tiempo. Por lo tanto, el modo más fructífero de considerar a la atención es como un sistema dinámico que permite, de modo flexible, la selección de muchas maneras diferentes. Estos estudios de sistemas neurales en el cerebro humano complementan los estudios comportamentales descritos en apartados previos.



### *Control de comprensión*



1. Describa dos métodos diferentes que se hayan utilizado para estudiar las bases cerebrales de la atención.
2. ¿Apoyan los estudios con PP la hipótesis de selección inicial o la de selección tardía de la atención? En principio, ¿los resultados de estos estudios podrían apoyar las dos hipótesis? Si es así ¿de qué manera? Si no ¿por qué no?

## 4 Competición: ¿Un único marco explicativo de la atención?

El concepto de atención selectiva ha experimentado muchas transformaciones a lo largo de la historia de los estudios de la atención. Las primeras teorías establecían analogías entre la atención y un mecanismo de filtrado o cuello de botella, que operaba conforme a un conjunto de criterios inicialmente perceptivos y posteriormente, semánticos. Teorías posteriores consideraron la atención como una distribución selectiva de una cantidad limitada de recursos cognitivos. La atención ya no se consideraba como una puerta aislada o como un cuello de botella, sino como una influencia que modula, la cual podía aumentar o disminuir la eficacia con la que se realiza un procesamiento riguroso. Vista así, la atención es un mecanismo mucho más flexible —capaz de facilitar o de inhibir el procesamiento del *input*— que un simple foco de luz o un filtro. Datos procedentes de muchos estudios, con diseños experimentales diferentes, han sugerido modos en que puede llevarse a cabo la atención en el cerebro. Parece ser que en el procesamiento de la atención participan muchas áreas cerebrales distintas, desde el lóbulo occipital posterior hasta el lóbulo frontal anterior.

¿Hay una teoría general de la atención que abarque los hallazgos encontrados en los estudios neurales y en la conducta observada? La respuesta es sí. Es la teoría de la *competición sesgada* o de la *competición integrada*, desarrollada por Desimone y Duncan (1995) y por Duncan y sus colaboradores (1997).

Desde el punto de vista de esta teoría, la atención se considera una forma de competición entre diferentes *inputs* que puede tener lugar entre varias representaciones en todas las etapas del procesamiento. En un modelo de competición simple, el *input* que recibe la mayor proporción de recursos (supongamos que por poseer atributos de arriba a abajo destacados) sería el que se analiza de un modo más exhaustivo. Una señal de abajo a arriba muy fuerte (como la rotura de los cristales en la fiesta) se procesaría rápida y eficazmente, incluso por encima del ambiente ruidoso de la fiesta.

En la corteza auditiva se daría competición (y selección, que es el resultado de la competición) entre el «ruido de los cristales al romperse» y el «ruido general de la fiesta». La misma clase de competición ocurriría con *inputs* de otras modalidades sensitivas.

La competición entre *inputs* puede estar sesgada por la influencia de otros sistemas cognitivos. Centrándose en el procesamiento visual, Desimone y Duncan (1995) argumentaron que la atención es «una propiedad emergente de muchos mecanismos neurales que trabajan para resolver la competición por el procesamiento visual y el control de la conducta». (p. 194). En vez de caracterizar la atención como un foco de luz que destaca determinadas regiones del espacio para que se procesen, o como un cuello de botella o filtro, estos investigadores definen la atención como una parte integral del proceso perceptivo o cognitivo en sí mismo. La competición ocurre porque es imposible procesar todo al mismo tiempo, la atención actúa como una predisposición que ayuda a resolver la competición entre *inputs*. Así, por ejemplo, si el *input* contiene un círculo gris, habría competición entre diferentes representaciones de color (o neuronas que constituyen las representaciones) y ganaría el gris. Las neuronas de esa representación dispararían y el gris sería considerado el *input* ganador. La predisposición puede deberse tanto a las características del estímulo externo (factor exógeno) como a la importancia de un estímulo para las metas personales en ese momento (factor endógeno).

La competición que tiene lugar entre posibles *inputs* se da en múltiples regiones cerebrales diferentes. Por ejemplo, la competición en las primeras áreas de procesamiento del sistema visual tenderá a estar influida por factores exógenos, tales como el color o el movimiento. Esta competición, a su vez, afectará a las regiones más anteriores del cerebro a las que estas áreas de nivel inferior envían información para que siga procesándose. Allí, sin embargo, factores endógenos, tales como la pertinencia del estímulo o las metas del individuo, tenderán a sesgar la competición en las regiones del cerebro involucradas en formular planes acerca de cómo conseguir objetivos específicos. Esta última competición puede también enviar información de vuelta a las regiones de procesamiento de nivel inferior y modular la influencia de factores exógenos en dicho nivel. La teoría sostiene que muchas regiones cerebrales diferentes participan en tal competición y, puesto que están conectadas, la competición se integra a su través. El vencedor final de la competición —el elemento al que finalmente se atiende— se determina por consenso entre todas las diferentes regiones que trabajan conjuntamente. Teniendo en cuenta esta perspectiva, no es de sorprender que se haya encontrado que tantas áreas cerebrales distintas contribuyen a la selección de la atención.

Una de los motivos originales de la idea de la competición procede de un estudio de registro unicelular en el cual se adiestró a monos para que realizaran una tarea de búsqueda visual (Moran y Desimone, 1985). El principal resultado fue que cuando había dos objetivos en el mismo campo receptor competían por las respuestas de la célula. No obstante, cuando uno de los objetos era el objetivo y el otro era un elemento de distracción, las neuronas respondían fundamentalmente al estímulo objetivo, bloqueando el procesamiento del estímulo que distrae. Si imaginamos estos procesos competitivos ocurriendo a lo largo de toda la vía de procesamiento, un modo de entender la atención es concebirla como un mecanismo de compuerta que sesga el procesamiento conforme a una combinación de preeminencia externa y de metas internas. El resultado de la competición es un ganador, que es seleccionado para un procesamiento posterior preferente.

Varios estudios realizados con PP y con RMf han demostrado como la onda de los PP o la activación de varias regiones cerebrales se refuerza o aumenta en condiciones de competición. Estos incrementos ocurren cuando los sujetos realizan discriminaciones más difíciles (Lavie, 1995), cuando los elementos de distracción compiten con un objetivo y cuando aumentan los requerimientos de una tarea. Cuando los requerimientos de la tarea aumentan, como sucede en el caso de las tareas dobles, se observa menos activación en las áreas asociadas con una tarea secundaria simultánea, lo que refleja la disminución del procesamiento de la información no seleccionada.

También se observan efectos de competición cuando los estímulos aparecen simultáneamente en vez de en serie. Es posible que esto refleje una supresión mutua de estímulos que compiten al mismo tiempo. En estudio (Kastner *et al.*, 1998) se halló que cuando había cuatro estímulos visuales se daba un grado menor de activación en el área visual cortical V4 que cuando sólo había uno. Sin embargo, cuando se les pidió a los sujetos que atendieran a uno solo de los cuatro estímulos que se presentaban simultáneamente, la activación volvió a un nivel similar al observado cuando se presentaba solo un único estímulo (véase el recuadro adjunto *Una visión más detenida*). En el marco de la teoría de la integración de la competición, atender a un único objeto reduce eficazmente la cantidad de competición procedente de otros estímulos y el sesgo de procesamiento hacia ese estímulo.

Otros testimonios de la modulación de la atención, obtenidos con técnicas de RMf y de PP, se han encontrado en V1 y en otras áreas corticales visuales iniciales (Brefczynski y DeYoe, 1999; Gandhi *et al.*, 1999; Luck y Hillyard, 2000; Noesselt *et al.*, 2002; Somers *et al.*, 1999). Algunos investigadores han encontrado incluso efectos muy tempranos de la atención en el núcleo geniculado lateral del tálamo, una estación clave de relevo de la información entre la retina y la corteza visual de la parte posterior del cerebro (O'Connor *et al.,* 2002). Estos resultados indican que, como defiende la teoría, la información puede ser enviada de vuelta a áreas que realizan un procesamiento anterior y así sesgar el procesamiento posterior. Más aún, hay indicios de que las conexiones de retroalimentación a la corteza visual primaria participan en determinar nuestra experiencia consciente de la información visual (Pascual-Leone y Wash, 2001).

También se hace evidente la competición cuando se solicita a un sujeto que divida la atención entre dos características perceptivas. Comparada con una condición simple en la cual no aparece ningún estímulo en la pantalla y el sujeto mantiene la mirada fija en un punto de fijación, atender a la forma o el color de un estímulo que aparece en la pantalla produce un grado mayor de activación en muchas áreas visuales. Además, si el sujeto ha de cambiar entre atender al color y atender a la forma, se verán involucradas áreas adicionales del cerebro y —no es de sorprender— se activarán asimismo regiones de la corteza parietal (Le *et al.*, 1998; Liu *et al.,* 2003).

Muchos de los hallazgos que demuestran fallos de selección en el espacio o en el tiempo pueden explicarse por la idea de la competición entre estímulos. Por ejemplo, en la señalización de la atención encubierta (véase la Figura 3-7) los ensayos no válidos se pueden considerar casos en los que hay competición entre la localización indicada por la señal no válida y la localización donde aparece el objetivo; en la condición válida, la localización de la señal válida y la localización del objetivo son una y la misma, y por lo tanto prevalece la cooperación sobre la competición. Asimismo, los efectos de la atención dividida se pueden interpretar como el resultado de la competición entre diferentes *inputs* o diferentes tareas, por contraposición al caso no

competitivo, en el cual el foco está exclusivamente en un único *input* o en una sola tarea. La mejora, en la forma de automatismo, que llega cuando aumenta la práctica en tareas dobles, se puede considerar una reducción de la competición entre las dos tareas. Por otra parte, el rendimiento de pacientes con negligencia hemiespacial puede también entenderse dentro de este marco de competición. Si la lesión del lado derecho del cerebro permite al hemisferio intacto producir un sesgo que lo aparte del lado izquierdo y lo dirija hacia el lado derecho, este sesgo aumenta la fuerza competitiva de los estímulos situados en el lado derecho y reduce la de los situados en el lado izquierdo.

Los fallos de selección en el tiempo llevan por sí mismos a una explicación similar. El fallo en señalar T2 en la tarea de parpadeo de la atención (véase la Figura 3-4) puede surgir de una competición entre T1 y T2. Señalar la presencia de T2 cuando no le precede T1 no es problemático —no hay competición—. Sin embargo, tener que señalar T2 cuando está precedido por T1 y tiene un aspecto muy similar a T1 (por ejemplo, las letras son «A» y «H») establece un entorno extremadamente competitivo y reduce las posibilidades de detectar T2. La competición también puede explicar los fallos de selección en el tiempo observados en pacientes con negligencia hemiespacial. Cuando se presentan estímulos visuales en ambos lados, mejora el rendimiento en indicar la presencia del estímulo en el lado desatendido dependiendo del tiempo de presentación de los dos estímulos y su agrupamiento. Se podría considerar que estos dos factores, tiempo y agrupamiento, son sesgos que pueden influir en el resultado de la competición entre estímulos a la derecha y a la izquierda.

Parece pues, que casi todos los experimentos comportamentales que se han revisado aquí hasta ahora se pueden interpretar en términos de competición entre estímulos «fuertes» y «débiles», definiendo la fuerza como una combinación de influencias de abajo a arriba y de arriba a abajo. Aunque todavía no se han resuelto todos los detalles de la competición sesgada, este marco explicativo nos permite explicar una amplia serie de hallazgos; su orientación es prometedora. Lo interesante de esta teoría es que subraya la idea de que la atención es un sesgo del procesamiento y que el procesamiento ocurre mediante interacciones cooperativas y competitivas entre áreas cerebrales. Debido a que las diferentes áreas del cerebro están conectadas, todas ellas contribuirán a la selección del objetivo. Combinando los resultados comportamentales con la participación inferida de un área determinada del cerebro, es posible empezar a ampliar el conocimiento de cómo los sistemas neurales manifiestan los efectos de la atención y cómo dichos cambios afectan a la cognición y a la conducta.



## *Control de comprensión*



1. ¿Cómo un parpadeo de la atención podría ser consecuencia de la competición entre dos estímulos?
2 Ponga un ejemplo de cómo una señal «de abajo a arriba» destacada podría competir con otros estímulos y ganar.

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

### Competición y selección

Aquí se examina una investigación que exploró los mecanismos mediante los cuales la competición por los estímulos podría aumentar o disminuir. El trabajo, realizado por Sabine Kastner, Peter De Weld, Robert Desimone y Leslie Ungerleider, y titulado: «Mechanisms of Directed Attention in the Human Extrastriate Cortex as Revealed by Functional MRI» («Mecanismos de la atención dirigida en la corteza extraestriada humana registrados mediante resonancia magnética funcional») se publicó en 1998 en *Science, 282*, 108-111.

**Introducción**

Los investigadores utilizaron RMf para comprobar ideas relativas a la competición y a la selección de la atención. La idea a examinar era que el sistema visual tiene una capacidad limitada para procesar múltiples estímulos en un momento dado. La hipótesis: para que un objeto sea seleccionado tiene que darse competición entre los objetos disponibles con el fin de promover a un «ganador». La eliminación del ganador final por los estímulos «perdedores» dará lugar a una reducción de la señal cuantificada mediante RMf. Además, los investigadores argumentan que esta eliminación puede superarse incluso cuando hay múltiples objetos: si la atención se dirige específicamente a uno de los objetos, la respuesta será reforzada y acarreará señales de RMf más fuertes.

**Método**

Ocho sujetos vieron imágenes que aparecían en una pantalla mientras se les realizaba una exploración con RMf. En el primer experimento se aplicaron dos condiciones experimentales. En la *condición secuencial* se mostraron cuatro imágenes complejas en una localización aleatoria de la pantalla, pero sólo se presentaba un único objeto cada vez. Por contraposición, en la *condición de simultaneidad* se presentaron las mismas cuatro imágenes complejas, pero en este caso las cuatro se presentaban al mismo tiempo. Ya que la competición (y la supresión) puede tener lugar cuando las cuatro están presentes simultáneamente, se esperaba que la señal de RMf registrada en la corteza visual durante la condición de simultaneidad fuera menor que la suma de las cuatro señales RMf obtenidas en la condición secuencial. El segundo experimento era igual que el primero, pero con la novedad de que en algunos conjuntos de ensayos se les daba a los sujetos la instrucción de atender a una localización particular en la cual se presentaba un estímulo y de contar las veces en que un estímulo objetivo determinado aparecía en esa localización.

**Resultados**

En la condición de simultaneidad se observaron en muchas áreas visuales del cerebro señales marcadamente más débiles que en la condición secuencial, lo que apoya la idea de que los estímulos presentados conjuntamente competían entre ellos y, al hacerlo, se producía la eliminación de algunos de ellos. Cuando los estímulos se presentan de uno en uno, cada uno de ellos puede activar todo el cerebro y así la condición secuencial da lugar a señales de RMf más fuertes. Es interesante e importante que en el segundo experimento, cuando los sujetos atendían a la localización de uno de los estímulos, hubo un aumento de la intensidad de la señal RMf y esta señal era incluso mayor que en la condición secuencial en algunas áreas visuales del cerebro.

**Discusión**

La hipótesis era que la competición entre múltiples estímulos llevaría a la supresión, y que esto se reflejaría en una reducción de la señal RMf. Esto fue lo que sucedió en realidad, y este hallazgo apoya la idea de

que la atención es un proceso dinámico en el cual los estímulos compiten por ser seleccionados. La competición, por lo tanto, puede ser el medio por el cual los estímulos no deseados se filtran (se suprimen y tienen poca o ninguna activación). El segundo experimento demuestra que se pueden poner de relieve ciertos estímulos cuando se les atiende, incluso si hay muchos estímulos presentes. Este hallazgo indica que cuando se selecciona un subconjunto de elementos para procesarlos más detenidamente, además de suprimirse unos elementos se enfatizan otros.

## Repaso y reflexión

**1.** *¿Qué es la atención y cómo opera durante la cognición?*

La atención es el proceso por el cual podemos elegir entre muchos estímulos en competición presentes en nuestro entorno, lo que facilita el procesamiento de unos al tiempo que se inhibe el procesamiento de otros. Esta selección puede ser motivada por factores endógenos como nuestras metas (por ejemplo, encontrar a un amigo determinado, seguir una instrucción, utilizar una flecha para dirigir la atención), o por factores exógenos como un estímulo destacado o nuevo que capta la atención, apartándola de la tarea en curso (por ejemplo, una luz brillante, un sonido fuerte). Debido a que en un momento dado hay más información de la que podemos afrontar, la atención es el mecanismo mediante el cual se selecciona la información más importante para procesarla más detenidamente. El tipo de información que perdemos y las condiciones en las que la perdemos son, por lo tanto, la otra cara de los procesos cognitivos implicados en la selección de la atención. No ser consciente de los pósters que hay en la pared en una fiesta es un fallo de selección que es algo propio de la búsqueda selectiva de los rasgos característicos de un amigo. Aunque sólo seamos capaces de procesar una cantidad limitada de información tanto en el tiempo como en el espacio, la selección, afortunadamente, no ocurre de forma aleatoria. Nuestras metas, así como la preeminencia de la información que nos rodea, determinan dónde y a qué atendemos. Este equilibrio entre factores endógenos y exógenos no sólo nos permite alcanzar nuestras metas eficazmente, como encontrar a un individuo en una multitud, sino también percibir información externa importante, como una alarma contra incendios o la rotura de un cristal.

**Piense críticamente**

- Describa las diferencias entre el procesamiento endógeno y exógeno de la atención en el espacio y en el tiempo.
- ¿Qué ocurriría si fuéramos conscientes por igual de todos los detalles auditivos y visuales de nuestro entorno al mismo tiempo?, ¿sería esto una ventaja, o una desventaja?
- ¿Estudiar en un ambiente ruidoso, como una cafetería, nos ayuda a concentrarnos o nos distrae? ¿El nivel de ruido y la dificultad del tema de estudio o su tipo (verbal, gráfico) influyen en que un lugar sea adecuado para estudiar?, ¿cómo?
- ¿Cómo facilitan los procesos modales cruzados (por ejemplo, de visual a auditivo) la selección de la atención de información significativa para los objetivos tal como buscar a un amigo en una aglomeración?, ¿cómo pueden dificultarla los procesos modales cruzados?

2. *¿Qué modelos de procesamiento de la información se han ideado para entender la atención?*

   Cada uno de los diferentes modelos de la atención ha logrado captar un aspecto particular del procesamiento de la atención. El debate acerca de si la atención opera en una fase inicial o tardía puso de relieve dos aspectos de la atención. En primer lugar, la atención puede ejercer un efecto en los niveles más iniciales del procesamiento perceptivo al reducir la cantidad de información que ingresa en nuestro sistema cognitivo. En segundo lugar, algo de información desatendida alcanza las fases más avanzadas del procesamiento, lo que demuestra que no toda la información desatendida es filtrada por completo. La información que es coherente con nuestras metas dentro de un contexto o que parece ser de extrema importancia, como nuestro nombre, atraviesa el filtro de la atención. La metáfora del foco de luz para la atención reflejó la realidad de que el espacio es un eficaz sistema de coordenadas para nuestro sistema perceptivo y que la atención actúa directamente sobre estos sistemas sensitivos. Por ejemplo, volvernos hacia el sonido de la rotura de cristales en una fiesta puede llevar a una selección fortuita de otras cosas en esa localización espacial, como puede ser un mueble, que de otra forma nos hubiera pasado desapercibido. Teorías posteriores, como la de integración de características y la de búsqueda guiada, propusieron modelos más complejos de la atención que implicaron etapas de procesamiento iniciales previas a la atención y etapas tardías de atención. Estas teorías aportaron la idea del mecanismo mediante el que la atención integra la información. Como las teorías cambian con el tiempo, se construyen sobre ideas de teorías previas y van aumentando el grado de detalle de la explicación. De este modo, nuestro conocimiento de la atención se va construyendo en el tiempo.

   **Piense críticamente**

   - Conforme a los hallazgos de las investigaciones, ¿sería más efectivo para buscar a nuestra amiga en una fiesta multitudinaria guiarnos por una dimensión particular (por ejemplo, el color de su vestido, su talla) o por una combinación de dimensiones?, ¿cuál y por qué?
   - A partir del conocimiento de diferentes teorías de la atención, ¿qué recomendaciones daríamos a las agencias publicitarias para hacer anuncios con alta probabilidad de que se les preste atención y se lean?, ¿qué sugerencias haríamos a los *Web Master* que quieren controlar la distracción de los anuncios de la Web en sus páginas?
   - ¿En qué sentido resulta el foco de luz una metáfora apropiada para la atención y en cuáles no?
   - Según la teoría de integración de características, ¿cuál es la diferencia entre el procesamiento previo a la atención y el procesamiento durante la atención?

3. *¿Cómo han mejorado nuestro conocimiento de la atención las nuevas técnicas para estudiar el cerebro?*

   En conjunto, los estudios con PP, TEP, EMT y RMf han corroborado y ampliado los conceptos de procesamiento de la información de la atención. Han demostrado que la atención modula el procesamiento en áreas sensitivas de procesamiento inicial, como la corteza visual primaria, pero que la señal de la atención puede ser generada por el procesamiento en los lóbulos parietales y frontales. Las áreas frontal y parietal asociadas con la atención están separadas en dos sistemas neu-

rales que están interconectados. El sistema más dorsal está implicado en la atención endógena y estrechamente conectado con los sistemas motores que rigen los movimientos de los ojos y de otras partes del cuerpo. Este sistema subyace a la selección voluntaria de información pertinente y a su conversión en acciones diferenciadas, como mover los ojos hacia una persona vestida de verde. El sistema más ventral responde a la aparición de nuevos estímulos exógenos, como el sonido de la rotura de cristales, y este sistema puede modular, y ser modulado, por señales procedentes del sistema dorsal. Los resultados sugieren que el sistema cerebral de atención implica a áreas estrechamente interconectadas que interaccionan para producir una selección eficaz de la información pertinente.

**Piense críticamente**

- ¿La lesión de qué áreas del cerebro afectaría a los sistemas endógeno y exógeno, respectivamente, de la atención?
- ¿Qué alteraciones en la búsqueda de un amigo en una habitación llena de gente podríamos esperar que ocurrieran si tuviéramos una lesión cerebral en uno u otro de los dos sistemas de atención?
- ¿Qué propiedades de los sistemas neurales involucrados en el control de la atención nos han ayudado a comprender las técnicas de EMT, PP, TEP y RMf?
- ¿Qué áreas del cerebro se ha encontrado que participan en el procesamiento de la atención y cómo lo hacen?

4. *La atención, conforme a una teoría contemporánea, es una competición entre diferentes fuentes de información, todas ellas rivalizando por conseguir un procesamiento posterior. ¿Puede una teoría semejante explicar tanto el enfoque conductista como el cerebral de la atención?*

El marco explicativo de la competición describe la atención como una señal que sesga el procesamiento hacia la característica más pertinente o destacada, la cual se procesa luego más detenidamente. La atención, en tanto que una señal sesgada, actúa dentro de sistemas perceptivos y cognitivos, así como entre ellos. El resultado del sesgo existente en una fase del procesamiento se transmite a otras fases y actúa allí como un sesgo. Los efectos de la competición son dinámicos, como han demostrado los experimentos que son los efectos de la atención. Según el enfoque de la competición, el motivo por el que es tan difícil encontrar a nuestra amiga en una habitación llena de gente es que hay demasiados objetos en competición que son, o bien muy parecidos —por ejemplo, otras personas—, o bien muy destacados —como el ruido de los cristales rotos o las voces altas—. Nuestra amiga, en tanto que un objeto, no gana inmediatamente la competición por el procesamiento. Si la fiesta fuera menos ruidosa y multitudinaria, sería más fácil que las características o propiedades de nuestra amiga fueran seleccionadas y otras propiedades fueran inhibidas. Este ejemplo indica asimismo la naturaleza continua de la competición: la competición sesgada sugiere que el proceso de selección, más que ser binario, es continuo y gradual.

**Piense críticamente**

- ¿En qué se diferencia la competición sesgada de las otras teorías de la atención?
- ¿Cómo puede utilizarse la idea de que la información de la que somos conscientes es esencialmente la «ganadora» entre la información que compite para orientar las leyes referentes al uso de teléfonos móviles mientras se conduce?
- ¿Cómo podemos aplicar el principio del procesamiento sesgado para inventar señales de tráfico más eficaces?

# Representación y conocimiento en la memoria a largo plazo




## Objetivos de aprendizaje

**1.** Funciones del conocimiento en la cognición
**2.** Representaciones y sus formatos
  **2.1.** Recuerdos y representaciones
  **2.2.** Cuatro formatos posibles para las representaciones
**UNA VISIÓN MÁS DETENIDA:** Evidencia comportamental de las imágenes mentales
**DEBATE:** ¿Existen representaciones amodales?
  **2.3.** Múltiples formatos de representación en la percepción y la simulación
**3.** De la representación al conocimiento de categorías
  **3.1.** Poder deductivo del conocimiento de categorías
  **3.2.** Naturaleza multimodal del conocimiento de categorías
  **3.3.** Mecanismos multimodales y conocimiento de categorías: datos comportamentales
  **3.4.** Mecanismos multimodales y conocimiento de categorías: datos neurales
**4.** Estructuras del conocimiento de categorías
  **4.1.** Ejemplares y reglas
  **4.2.** Prototipos y tipismos
  **4.3.** Conocimiento de base
  **4.4.** Representación dinámica
**5.** Dominios de categoría y organización
  **5.1.** Distinción entre dominios de conocimiento de categorías en el cerebro
  **5.2.** Taxonomías y búsqueda de un «nivel básico»
*Repaso y reflexión*

Entramos en una habitación. Hay gente de pie alrededor de una mesa llena de objetos envueltos en papeles de colores brillantes. En un plato hay un objeto del que sobresalen pequeñas protuberancias cilíndricas. Alguien prende fuego a esos bastoncillos. La gente lanza exclamaciones, pero ¿qué significan sus palabras? Ahora empiezan a cantar. Parece que están cantando por nosotros o para nosotros, estar muy contentos y ser amistosos. Es difícil entender lo que están cantando, porque a pesar de que parecen conocer la canción —es muy corta y melódicamente muy sencilla—, la cantan de un modo desigual y no muy bien, aunque con entusiasmo.

¿Es esto un sueño? No. Gracias a la imaginación, acabamos de asistir a nuestra propia fiesta de cumpleaños al tiempo que se nos niega el acceso a nuestros conocimientos almacenados en la memoria a largo plazo, —lo que significa que no tenemos conocimientos sobre nuestra cultura ni nuestras costumbres tribales, ningún conocimiento del significado de los objetos que tenemos enfrente o de las palabras que nos dicen o nos cantan—. Ese tipo de conocimiento normalmente nos viene a la mente con facilidad, desde las épocas de nuestras experiencias más tempranas en el mundo y tiene una enorme influencia en nuestras vidas. ¿Cómo se almacena, cómo se aplica y cómo funciona?

En este capítulo buscaremos respuestas a las siguientes cuestiones generales:

1. ¿Qué papeles juega el conocimiento en la cognición y cómo se representa éste en el cerebro?
2. ¿Qué formatos de representación es más probable que existan en el cerebro y cómo múltiples formatos de representación operan juntos para representar y simular un objeto?
3. ¿Cómo las representaciones distribuidas por todo el cerebro llegan a integrarse para establecer el conocimiento de categorías?
4. ¿Qué tipos diferentes de estructuras de representación subyacen al conocimiento de categorías y cómo se accede a ellas en cada ocasión particular?
5. ¿Cómo se representan y organizan los diferentes dominios de categorías?

# 1 Funciones del conocimiento en la cognición

Con frecuencia se concibe el *conocimiento* como algo constituido por un conjunto particular de hechos, técnicas y procedimientos que desarrollan las culturas, tal como «saber las estadísticas del béisbol», «saber tocar la guitarra», «saber cómo pedir una comida en un restaurante». Este conocimiento, en la mayoría de los casos, nos viene a la mente de un modo consciente, después de una larga y, con frecuencia, difícil práctica. Pero en su sentido más amplio el conocimiento, en su mayor parte, existe y opera de forma no consciente: por lo general no somos conscientes del constante y amplio impacto que el conocimiento tiene en nosotros en cada momento. El tipo de conocimiento formal —las causas de la Revolución Americana o la llamada regla del bateador en el béisbol— es un subconjunto relativamente pequeño y sin influencia en todo lo que sabemos y que afecta a nuestra vida cotidiana. La mayor parte de nuestro conocimiento —y es el conocimiento que más influye en nuestra vida diaria— es un conocimiento relativamente mundano acerca de asuntos como la vestimenta, la conducción y el amor (bueno, es posible que no tan mundano). Por lo tanto, el **conocimiento**, en su acepción más amplia y en el sentido en el que se utiliza el término en Psicología cognitiva, es información acerca del mundo que se almacena en la memoria y que va de lo cotidiano a lo formal. Con frecuencia, el conocimiento se define de forma más extensa como información acerca del mundo que es posible que sea cierta, que está justificado creerla y que es coherente (para más información, véase Carruthers, 1992; Leher, 1990).

El conocimiento así definido posibilita de muchas maneras la vida cotidiana. Es esencial para un buen funcionamiento de la mayoría de los procesos mentales, no sólo de la memoria, del lenguaje y del pensamiento, sino también de la percepción y de la atención. Sin conocimiento *cualqui*er proceso mental llegaría a ser ineficaz. ¿Cómo podríamos experimentar nuestra fiesta de cumpleaños si el conocimiento, simplemente, se desvanece?

Para empezar, no hubiéramos sido capaces de ir más allá de la superficie de los objetos y sensaciones que nos rodean en el mundo. Cada uno de ellos sería único, sin historia o significado. En concreto, seríamos incapaces de clasificar o *categorizar* las cosas. La categorización es la capacidad de establecer que una entidad percibida pertenece a un grupo específico de cosas que comparten características clave. Las «tartas», por ejemplo, forman una categoría de entidades que las personas perciben como relacionadas en su estructura y uso. Sin conocimiento no se puede categorizar —de modo que la tarta que está en la mesa en nuestra fiesta de cumpleaños no significa nada para nosotros—. Imaginemos una cámara que graba en película una imagen de la fiesta de cumpleaños. ¿*Sabría* la cámara que en la escena hay una tarta? No. Una cámara puede mostrar una imagen de una tarta, pero simplemente está grabando una determinada disposición de la luz en una película, que no difiere en calidad ni en significado de cualquier otra disposición de la luz. La cámara carece de conocimiento sobre el significado de las entidades y los sucesos en el mundo. Y en el «ejercicio de imaginación» de nuestra fiesta de cumpleaños nos hemos convertido en algo parecido a una cámara, capaces de registrar imágenes pero incapaces de captar lo que significan, lo que tienen en común con otras entidades presentes o ausentes de la escena. Así pues, la categorización es algo que desaparecería si se pierden los conocimientos.

Una vez que se asigna una entidad percibida a una categoría, se puede disponer de más conocimientos sobre la categoría para aplicarlos. Si sabemos que esto es una tarta, surge la asociación: ¿Es esto una celebración?, ¿es un regalo especial como postre? En realidad, lo esencial de la categorización es permitirnos extraer *deducciones*; a saber, permitirnos obtener información que no se encuentra presente explícitamente en un único miembro de la categoría, pero de la que se puede disponer gracias al conocimiento de las características del grupo o grupos a los que pertenece. Una vez que se categoriza una entidad percibida, se pueden obtener muchas deducciones útiles. Si somos capaces de asignar un objeto envuelto en papel de color brillante a la categoría de «regalos», nuestro conocimiento de los regalos nos proporcionará deducciones relativas al objeto envuelto que van más allá de lo que realmente vemos «como una cámara» —el objeto es una caja, la cual podría contener un regalo cuidadosamente elegido que un amigo nos ha comprado o una bagatela escogida al azar—. Aunque no podemos ver el interior de la caja, nuestro conocimiento deductivo sobre los regalos nos sugiere estas posibilidades. Sin ser capaces de categorizar, ¿podríamos realizar estas deducciones?, ¿podría una cámara deducir que una caja envuelta contiene un regalo o una bagatela? Por supuesto que no. Y tampoco nosotros si hubiéramos perdido nuestro conocimiento.

De pie en el umbral de la puerta y mirando esta escena, no sabemos que ésta es nuestra fiesta de cumpleaños. No podemos saberlo porque nos falta el conocimiento para sacar conclusiones que van más allá de lo que vemos. ¿Y en lo relativo a la *acción*?, ¿sabríamos qué hacer en esa situación?, ¿sabríamos soplar las velas, responder a las felicitaciones de los amigos y abrir los regalos? No existe reflejo biológico alguno que nos pueda ayudar en dicha situación. Así pues, otra vez la respuesta es que no: no tener conocimiento significa que no hay una acción apropiada. Pensemos en la cámara —al grabar una caja en su visor, ¿sabría que la caja es un regalo que hay que desenvolver?—. No, no lo sabría y tampoco nosotros sin nuestro conocimiento sobre los regalos.

Ahora alguien está de pie frente a la mesa, tapando parte de nuestro nombre escrito en la tarta sin empezar. Normalmente, deduciríamos fácilmente el nombre completo. ¿Podríamos hacerlo en nuestro estado actual de «no conocimiento»? No; no más de lo que podría una cámara. Sin conocimientos no podíamos completar la percepción parcial, pero sí podemos hacerlo con conocimiento. Por lo general, estamos completando constantemente de esta forma percepciones parciales cuando nos encontramos en el entorno con objetos en parte ocultos. ¿Qué es lo que leemos en la Figura 4-1?, ¿las letras l-i-e-l-o o la palabra *hielo*? La palabra sin significado *lielo* es realmente más parecida a lo que figura en la página, pero nuestra primera categorización de la cadena de letras probablemente fue *hielo*. ¿Por qué? Debido a que —como se




**FIGURA 4-1** El conocimiento lleva a hacer deducciones mientras se percibe

Aunque las letras que se presentan en la figura parecen ser l-i-e-l-o, lo más probable es asumir que la palabra es *hielo*. Esta deducción se basa en el conocimiento de palabras que nos son familiares y de cómo una mancha puede desfigurarlas. Básicamente, el cerebro razona de forma inconsciente que es más probable que la palabra sea *hielo* que *lielo* y que una mancha ha tapado parcialmente la h.

vio en el Capítulo 2— el conocimiento de la palabra *hielo* en la memoria lleva a deducir que la palabra estaba presente, pero parcialmente oculta por algún tipo de mancha. Es poco probable que tengamos en la memoria la palabra *lielo*. Como se expuso en el Capítulo 2, el conocimiento afecta a la *percepción*.

Uno de los invitados exclama «¡Mirad por la ventana! ¡Parece Madonna arrancando el camión en el camino!» Si estuviéramos en nuestro estado normal, no en el estado de no conocimiento, ¿adonde dirigiríamos nuestra *atención* cuando mirásemos por la ventana? Probablemente, intentaríamos ver el interior de la cabina del camión, no examinar su exterior. Pero nada en la exclamación de nuestro anfitrión dirige nuestra atención hacia al interior de la cabina, por lo tanto, ¿por qué mirar allí dentro? La respuesta más obvia es que nuestro conocimiento de cómo se arranca un vehículo acarrea que orientemos nuestra atención. Incluso si no conducimos, por lo general sabemos dónde se sienta quien lo hace. Pero si no tuviéramos conocimiento —o, de nuevo, si fuéramos como una cámara— no tendríamos ni idea de hacia donde dirigir la atención.

Unas semanas antes de la fiesta, pedimos 50 euros prestados a un amigo, a quien hemos estado evitando porque aún no tenemos fondos para devolver el préstamo. Ahora, este amigo está frente a nosotros ofreciéndonos una de las grandes cajas. ¿Nos sentimos avergonzados? ¡En absoluto! Sin conocimiento, seríamos felizmente inconscientes de que deberíamos sentirnos culpables por no haber devuelto el préstamo. Incluso si recordamos haber pedido el dinero y cuándo lo hicimos, no podríamos deducir que ya deberíamos haberlo devuelto y que, dado que no lo hemos hecho, somos unos morosos. Un recuerdo específico sin conocimiento no ayuda mucho, porque sin conocimiento no podemos sacar deducciones útiles de aquello que se recuerda.

Después de la canción todo el mundo la fiesta nos grita al unísono «¡Te queremos!». Muy bonito —pero no tenemos ni idea de qué están diciendo—. ¿Por qué no? Porque la capacidad de entender el *lenguaje* requiere conocimiento. En primer lugar, necesitamos el conocimiento para reconocer las palabras y saber lo que significan. Si no tenemos conocimientos de español, no sabríamos que *querer* es una palabra pero *queter* no lo es. Del mismo modo, no sabríamos que *querer* significa tener cariño a una persona, y no tatuarla. En segundo lugar, necesitamos el conocimiento para enlazar los significados de las palabras en una frase. Cuando nuestros amigos dicen: «Te queremos» ¿cómo sabemos que están diciendo que ellos nos *quieren*, no que nosotros les queremos a ellos?, ¿cómo sabemos que «*queremos*» se refiere a los que quieren y «te» se refiere al que es querido?, ¿por qué no al contrario? El conocimiento del verbo *querer* especifica que en una frase construida en voz activa, el que quiere va antes del verbo y el que es querido va después. En una frase en pasiva, como puede ser «tú eres querido por nosotros», nuestro conocimiento especifica que estos papeles están cambiados. Al escuchar frases como éstas, somos capaces instantáneamente, gracias a nuestro conocimiento del lenguaje, de hacer interpretaciones exactas de quién está haciendo qué a quién.

Ahora la fiesta está a toda marcha y empieza el karaoke. Dos de nuestros amigos se ponen a cantar, uno de ellos es una auténtica maravilla. Otra canción, y ahora la maravilla es eclipsada por otro que canta incluso más alto. Ahora es nuestro turno, pero estamos un poco avergonzados. El cantante más tranquilo del primer dueto y el del vozarrón del segundo se presentan como voluntarios. Necesitamos la ayuda de una voz realmente fuerte. ¿A quién elegiremos? Al individuo vocalmente dotado de la segunda pareja, por supuesto. Pero, esperemos un momento —¿cómo le elegimos in-

faliblemente como el que cantaba más alto de los dos voluntarios?— No habían cantado juntos, así que ¿cómo podíamos juzgar? En un estado de no conocimiento, no habríamos podido. Pero podemos hacerlo con el conocimiento de la relación descrita por el principio de «transitividad», del cual hemos podido o no oír hablar, pero que sin duda hemos interiorizado mediante la experiencia. Si X es más gritón que Y, e Y es más gritón que Z, entonces X es más gritón que Z. Así pues, elegimos al cantante que hará con nosotros un dueto para el recuerdo —pero sin conocimiento, estaríamos realmente apañados, incapaces de sacar la conclusión que orientó satisfactoriamente nuestra elección. La transitividad es tan sólo un ejemplo de los muchos modos en los que el conocimiento posibilita un *pensamiento* sofisticado. El conocimiento subyace prácticamente a toda forma que toma el pensamiento, incluyendo la toma de decisiones, la planificación, la solución de problemas y el razonamiento en general.

Sin el conocimiento en sus varios papeles, en la categorización y la deducción, en la acción, en la percepción y atención, en la memoria, en el lenguaje y en el pensamiento, seríamos zombis en la fiesta. Estaríamos simplemente registrando imágenes de la escena de forma pasiva como una cámara y eso sería todo. Nos sentiríamos ineptos, frustrados, para entender algo de la situación o para actuar de modo adecuado. Dado que el conocimiento es esencial para el funcionamiento competente de todos los procesos mentales, sin él el cerebro no puede proporcionar ninguno de los servicios cognitivos que habitualmente realiza para nosotros. Para entender la cognición, es esencial entender el conocimiento y su presencia ubicua en todos los aspectos de la actividad mental



### *Control de comprensión*



1. ¿De qué modos utilizamos el conocimiento?
2. ¿Por qué es útil categorizar lo que percibimos?

## 2 Representaciones y sus formatos

Un aspecto clave del conocimiento es que se basa en representaciones. Las representaciones son un tema complicado y controvertido sobre el que científicos cognitivos de distintas disciplinas han discutido durante largo tiempo. Ninguna definición se ha aceptado por completo y la mayoría de las propuestas son muy técnicas. La definición que utilizamos aquí está relativamente simplificada, pero capta alguna de las ideas centrales en muchos aspectos. (Para considerar los diversos tratamientos de este importante concepto, véase Dietrich y Markman, 2000; Dretske, 1995; Goodman, 1976; Haugeland, 1991; Palmer, 1978.) Según se expuso en el Capítulo 1, una representación es un estado físico (como las marcas en una página, los campos magnéticos en un ordenador o las conexiones neurales en un cerebro) que representan un objeto, un suceso o un concepto. Las representaciones también pueden transmitir información de aquello que representan. Consideremos un mapa de una red de metro. El mapa es una representación, dado que representa las diferentes líneas, paradas y conexiones y contiene información de todas ellas, a saber: el orden de las paradas y las

direcciones relativas de las diversas líneas. Pero las representaciones implican más que eso, como se verá en el apartado siguiente.

## 2.1. Recuerdos y representaciones

Imaginemos que en nuestra fiesta de cumpleaños estamos viendo por primera vez una lámpara de lava. La lámpara está apagada. Vemos una jarra con forma de cono en un pedestal metálico, con una mezcla coloreada de líquidos y sólidos en su interior. Ahora, para sumarlo a la celebración, se enciende la lámpara. El contenido de la jarra brilla y glóbulos de material en su interior comienzan a ondular. Una propiedad básica del cerebro es que, hasta cierto punto, pero lejos de la perfección, almacena las experiencias percibidas —esto es, permite los recuerdos—. Cuando almacenamos nuestro primer recuerdo de una lámpara de lava, ¿estamos almacenando una representación?, ¿cumple este recuerdo los siguientes requisitos para ser una representación?

*Criterio de intencionalidad*: una representación tiene que construirse deliberadamente para representar algo. Esto parece ser un poco problemático. Por costumbre, las personas no intentan organizar deliberadamente sus experiencias diarias para recordarlas luego con más facilidad. Según estamos viendo la lámpara de lava por primera vez, probablemente no nos estemos diciendo a nosotros mismos: «Esto es estupendo, tengo que recordarlo durante el resto de mi vida». Sin embargo, lo recordaremos. Muchas investigaciones (y una buena cantidad de datos anecdóticos) indican que el cerebro almacena la información automáticamente, incluso cuando no estamos tratando de fijarla en la memoria (véase p. ej., Hasher y Zacks, 1979; Hyde y Jenkins, 1969). En efecto, el hecho de intentar conscientemente preservar información para recuperarla más tarde, no suele conducir a mejora alguna en la memoria si se compara con sólo percibir y procesar la información. Esto sugiere que tenemos la meta inconsciente de almacenar información sobre la experiencia, con independencia de nuestras metas conscientes. Es como si la capacidad de almacenar información fuera tan importante que la evolución no pudiera haber dejado el trabajo en manos de las intenciones conscientes de las personas (algunos de nosotros ni tan siquiera podemos recordar el sacar la basura). En vez de ello, la evolución confió parte del almacenamiento de la información a mecanismos automáticos inconscientes del cerebro.

¿Así pues, se cumple el criterio de intencionalidad? Sí, ya que el cerebro en un nivel inconsciente tiene la característica de diseño de almacenar información relativa a las experiencias del entorno para representar dichas experiencias. Si un fotógrafo prepara una cámara para tomar una fotografía cada segundo, con independencia de que el fotógrafo se encuentre o no presente, la intención de captar información está incorporada al sistema, con independencia de que quien originó el sistema, el fotógrafo, esté allí para tomar cada fotografía. De forma similar, la intención de captar información está incorporada al sistema cerebral, con independencia de que dirijamos o no conscientemente cada recuerdo.

*Criterio de transmisión de información*: una representación tiene que conllevar información sobre lo que representa. ¿Cumple este criterio nuestro primer recuerdo de una lámpara de lava? Imaginemos que al día siguiente alguien nos pregunta «¿Qué hay de nuevo?», y recordamos haber visto un objeto nuevo: la lámpara de lava. Valiéndonos de nuestros recuerdos de la lámpara de lava, la describimos. ¿Cómo podemos hacerlo? Debido a que nuestro recuerdo de la lámpara de lava contiene información referente a ésta —detalles de su forma, color y función—. Otra prueba de que

nuestros recuerdos de la lámpara conllevan información es que podemos establecer categorías basándonos en ellos. Si llegáramos a ver otra lámpara de lava, no necesariamente idéntica, podríamos decir que pertenece al mismo grupo de objetos que la que guardamos en la memoria. Dado que nuestros recuerdos de la primera lámpara conllevan información sobre cómo era, podemos utilizar esta información para reconocer otras cosas parecidas. De modo similar, si la segunda lámpara de lava de la que tenemos experiencia, la que estamos mirando en ese momento, está apagada, podemos consultar los recuerdos de la primera para hacer la conjetura de que la segunda probablemente pueda encenderse para hacerla brillar y que su contenido comience a oscilar. Dado que su recuerdo contiene información de la primera lámpara de lava, éste puede producir deducciones útiles sobre otras lámparas que podamos encontrar.

De este modo, las representaciones establecen las bases del conocimiento. Una vez que el cerebro establece deliberadamente recuerdos que contienen información sobre el entorno, se hacen posibles todo tipo de sofisticadas capacidades cognitivas.

## 2.2. Cuatro formatos posibles para las representaciones

¿Qué más podemos decir sobre una representación mental? Un aspecto de la representación es su formato. El *formato* se refiere a su tipo de código, como se vio en el Capítulo 1. Ahora podemos desarrollar más esta idea. El formato no sólo se refiere a los elementos que conforman una representación y a cómo están dispuestos dichos elementos, sino que se basa en las características de los procesos que operan en ellos para extraer información. Como se verá, las representaciones pueden ser de *modalidad específica*, esto es, pueden valerse de los sistemas perceptivos o motores; o *amodales*, basándose en algo externo a las modalidades perceptivas o motoras. Otro aspecto de la representación es su *contenido* —la información que expresa—.

### 2.2.1. Representaciones de modalidad específica: imágenes

Cuando hablábamos de la fiesta de cumpleaños, la metáfora de la cámara fue útil. Imágenes como las que capta la cámara son uno de los formatos posibles de una representación, que describen la información. Quizá el cerebro construya un tipo similar de representación. Lo cierto es que a menudo hablamos de ello como si lo hiciera, al decir cosas como «no me puedo quitar esa imagen de la mente» o «lo puedo ver con claridad en mi mente». Veamos qué está involucrado en las imágenes y si es probable que el cerebro contenga representaciones de esta forma.

En una mesa hay varias cajas envueltas y una tarta de cumpleaños. Parte de la escena ha sido captada por una cámara digital y registrada por píxeles, o «elementos de la imagen», las unidades de información visual de una imagen, y almacenada así. En concreto, una imagen tiene tres elementos, que en conjunto determinan su contenido: *una ventana espacio-temporal, unidades de almacenamiento* e *información almacenada*.

Una fotografía de la escena que hay frente a la cámara no capta todo lo que hay en la escena, sino tan solo aquella parte que está dentro de una ventana espacio-temporal (Figura 4-2a). Espacialmente, hay un número infinito de fotografías que una cámara puede tomar de la misma escena, dependiendo de su posición relativa a dicha escena —aquí la imagen ha cortado los regalos y las patas de la mesa—. Temporalmente, la escena no se capta de forma continua en el tiempo sino solo en aquel mo-

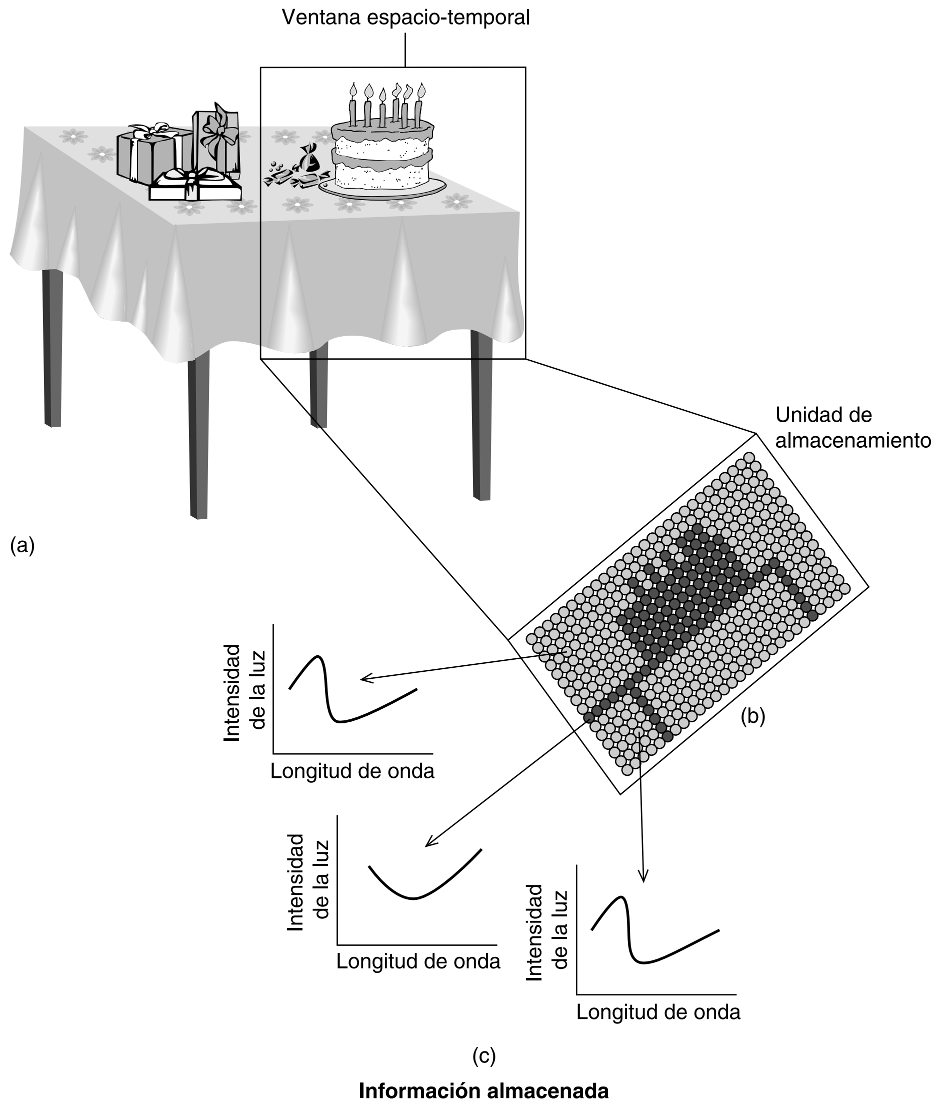



**FIGURA 4-2** Los componentes de una imagen: la escena del cumpleaños

(a) Una ventana espacio-temporal de la información captada en la escena vista. Dentro de la ventana espacio-temporal, (b) un conjunto de píxeles capta la información lumínica presente. Cada pixel almacena (c) información sobre la intensidad de luz en toda la gama de longitudes de onda de luz a las cuales es sensible el pixel. En conjunto, la información almacenada en los píxeles en la ventana espacio-temporal constituye una posible representación de la imagen de la escena del cumpleaños.

mento en el cual se abre el obturador. Así pues, cualquier imagen se define en cierto sentido por su ventana espacio-temporal.

Consideremos ahora las unidades de almacenamiento (Figura 4-2b) de la imagen en la ventana espacio-temporal. Una imagen contiene un conjunto de unidades de almacenamiento —píxeles si la cámara es digital o granos sensibles a la luz, si lo es de película— dispuestos sobre una retícula. Cada unidad de almacenamiento es sensible a la luz que la alcanza. Al igual que el conjunto completo de unidades de almacenamiento, cada unidad individual tiene también una ventana espacio-temporal. Sólo

capta la información que existe dentro de una región espacial y temporal determinada y que está contenida, a su vez, en la ventana mayor que abarca el conjunto completo.

Finalmente, consideremos la información contenida en las unidades de almacenamiento (Figura 4-2c). En el caso de una fotografía, esa información es la intensidad de la luz en las longitudes de onda visibles que inciden en cada unidad de almacenamiento. El conjunto de la información contenida en las unidades de almacenamiento define el contenido de la imagen.

Mucha (e importante) información adicional reside implícitamente en la imagen. Por ejemplo, un grupo contiguo de píxeles podría formar un cuadrado. Las distancias entre los píxeles corresponden a las distancias reales: si la distancia horizontal entre los píxeles A y B es más corta que la distancia horizontal entre los píxeles C y D, los puntos que en la realidad corresponden a A y a B están más cerca horizontalmente que los puntos que, también en la realidad, corresponden a los puntos C y D. Pero extraer estos tipos adicionales de información requiere un sistema de procesamiento y la cámara no posee dicho sistema (o dicho de otra manera, el sistema de procesamiento de la cámara es el cerebro del ser humano que la utiliza). La cuestión esencial es ahora: ¿Existen en el cerebro imágenes construidas al igual que la fotografía de la tarta de cumpleaños en la mesa que aparece en la Figura 4-2?

Muchas personas (pero no todas) dicen que perciben imágenes mentales que pueden «ver en su mente» o «escuchar en su mente». Está claro que los informes sobre las propias experiencias son importantes, pero la evidencia científica es esencial para obtener conclusiones sólidas, especialmente si se tienen en cuenta las ilusiones que la mente puede producir. Muchos datos científicos indican que existen imágenes mentales en el cerebro humano (para revisiones, véase Confarah, 2000; Finke, 1989; Kosslyn, 1980, 1994; Kosslyn *et al.*, 2006; Shepard y Cooper, 1982; Thompson y Kosslyn, 2000).

En primer lugar, consideremos un ejemplo de evidencia tomado de las investigaciones anatómicas del cerebro (Tootell *et al.*, 1982). La Figura 4-3a es el estímulo visual que vio un mono, la Figura 4-3b muestra la activación en el área V1 de la corteza occipital del mono, registrada mediante un marcador neural, mientras que el mono estaba mirando el estímulo. Una correspondencia sorprendente aparece de inmediato: el patrón de activación cerebral en la superficie del cerebro esboza la forma del estímulo. La razón es que la corteza de las áreas de procesamiento visual inicial está dispuesta de un modo similar a los píxeles de una imagen digital y responden de forma similar. Cuando las neuronas que están dispuestas de esta manera disparan, el patrón de activación forma un mapa topográfico —su disposición espacial en el cerebro es análoga a la disposición del espacio en el entorno—. La existencia de tantas estructuras anatómicas así organizadas topográficamente en el cerebro sugiere la presencia de imágenes.

Otro ejemplo de evidencia neural de tales imágenes lo aporta el caso del paciente M. G. S. (Farah *et al.*, 1992). El diagnóstico clínico de las crisis convulsivas que sufría M. G. S. localizó su origen en el lóbulo occipital derecho, la región que procesa la mitad izquierda del campo visual. Para reducir estas crisis, M. G. S. consintió en que se le extirpara el lóbulo occipital derecho. Además de que se redujeran las crisis, otro resultado —como se esperaba—, fue ceguera en el campo visual izquierdo.

¿Cuál podría ser el efecto de esta extirpación en la capacidad de M. G. S. para procesar imágenes visuales? Una gran cantidad de investigaciones han demostrado que las imágenes visuales se representan parcialmente en los lóbulo occipitales del ce-

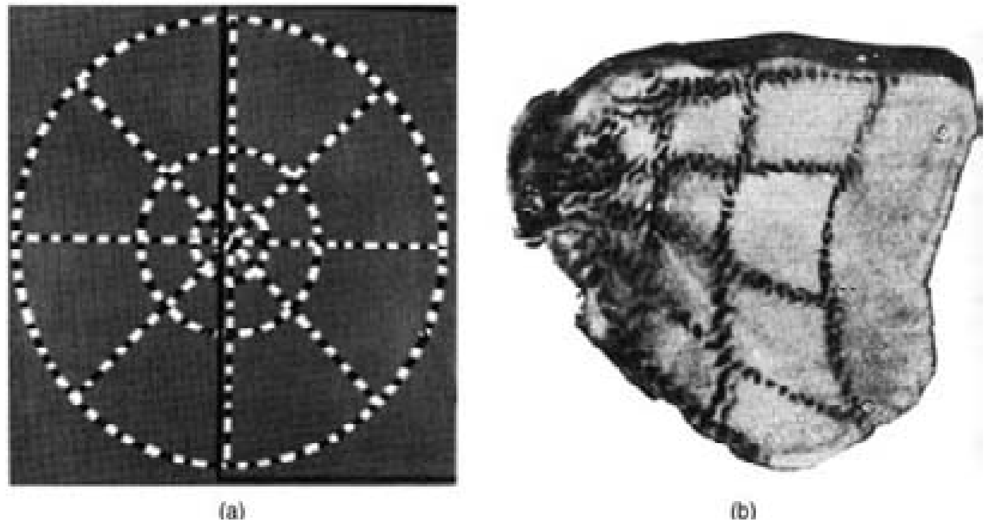



**FIGURA 4-3** Una imagen en el cerebro

(a) El estímulo «radios de una rueda» mostrado a un mono. (b) La activación que ocurrió en el área V1 del lóbulo occipital izquierdo del cerebro del mono (sólo se procesó la mitad derecha del estímulo) mientras éste veía el estímulo. La pauta de activación cerebral es similar a la pauta visual, lo que sugiere que el cerebro utiliza una forma de representación similar a una imagen en las fases iniciales del procesamiento visual.
(Tootell, R. B. H., Silverman M. S., Switkes, E. and DeValois, R. L. [1982].)

rebro y que el cerebro representa estas imágenes topográficamente, al menos en algunos casos (véase p. ej., Kosslyn *et al.*, 1995, 2006). Los investigadores pensaron que si realmente se representan imágenes visuales en los lóbulos occipitales, entonces el que M.G.S. hubiera perdiera el lóbulo occipital derecho debería haber reducido a la mitad el tamaño de sus imágenes visuales (una proporción análoga a la de su pérdida de visión). Para comprobar esta hipótesis, los investigadores midieron el tamaño del campo visual de imágenes de M. G. S. antes y después de su intervención quirúrgica. Como se había pronosticado, el tamaño del campo visual de imágenes de M. G. S. tras la operación era aproximadamente la mitad del tamaño original (Figura 4-4).

Los dos estudios expuestos, junto con otros muchos, han convencido a la mayoría de los investigadores de que el cerebro utiliza imágenes como una forma de representación. No sólo se han encontrado imágenes mentales en el sistema visual, sino que también se han hallado en el sistema motor, como se verá en el Capítulo 11 (véase, p.ej., Grèzes y Decety, 2001; Jeannerod, 1995, 1997) y en el auditivo (véase, p. ej., Halpern, 2001).

Además de toda la evidencia neural relativa a imágenes mentales que se ha acumulado, también se han acumulado muchos datos comportamentales. En efecto, muchos experimentos comportamentales perspicaces aportaron la primera evidencia de las imágenes mentales, precediendo en dos décadas a las evidencias neurales (para revisiones, véase Finke, 1989; Kosslyn, 1980; Shepard y Cooper, 1982). En estos experimentos, los investigadores pidieron a los sujetos que construyeran imágenes mentales mientras realizaban una tarea cognitiva. Si los sujetos construían en ese momento imágenes mentales, entonces dichas imágenes deberían tener cualidades perceptivas tales como color, forma, tamaño y orientación. Experimento tras experimento, encontraron que variables perceptivas como éstas afectaron al rendimiento en la ejecu-

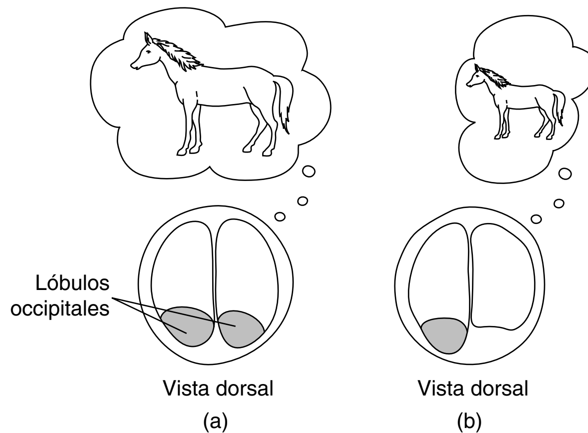



**FIGURA 4-4** Cerebro disminuido, imagen disminuida

(a) Diagrama de un cerebro intacto, no lesionado, y de una imagen visual percibida. (b) Después de la intervención quirúrgica. Puesto que las imágenes visuales se representan en el lóbulo occipital, la extirpación del lóbulo occipital derecho redujo el tamaño de las imágenes a la mitad (ya que la dimensión horizontal se restringía ahora a la mitad de su extensión previa)

(Figura 66.2 de la p. 968 de Farah, M. J. (2000). The neural bases of mental imagery. In M. S. Gazzaniga (ed), *The Cognitive Neurosciences* (2.ª ed., pp. 965-974). Cambridge MA: The MIT Press. Reproducido con autorización).

ción de la tarea, lo que sugiere que los sujetos habían construido imágenes mentales que tenían cualidades perceptivas. Véase el recuadro adjunto *Una visión más detenida* para una discusión detallada de este hallazgo respecto a la variable perceptiva del tamaño.

Aunque la cámara ha probado ser una metáfora útil en este debate, las imágenes mentales difieren significativamente de las que toma una cámara. En particular, las imágenes cerebrales no son tan continuas ni completas como las fotografías. Por ejemplo, en los trabajos sobre el fenómeno de ceguera al cambio, el fallo en advertir estímulos cambiantes en el campo visual (véase el Capítulo 3) indica que las imágenes perceptivas de las personas no tienen un nivel uniforme de detalle; algunas áreas no están tan bien representadas como otras (véase, por ejemplo, Henderson y Hollingworth, 2003; Wolfe, 1999). La Figura 4-5 ilustra este contraste. La Figura 4-5a capta una escena relativamente uniforme y completa, mientras que una imagen en el cerebro, como el dibujo manipulado en la Figura 4-5b es menos uniforme, con algunas áreas mejor representadas que otras. Parece ser que la atención visual es responsable de este desequilibrio: las partes bien representadas en escena son frecuentemente regiones donde se enfoca la atención (Hochberg, 1998). Cuando la atención no se centra en una región de una escena, el contenido de esa región no se codifica igual de bien en la imagen (véase, por ejemplo, Coltheart, 1999).

Otra cualidad importante de las imágenes mentales es que éstas se interpretan (véase por ejemplo Chambers y Reisberg, 1992). Si se enfoca la atención en el borde izquierdo del objeto ambiguo en la Figura 2-31b situado en la página 97 parecerá que es un pato, pero si se enfoca la atención en el borde derecho, parecerá que es un conejo. Dependiendo de dónde se enfoque la atención, varía la interpretación de los objetos. Una fotografía no contiene interpretaciones de las entidades que contiene. Si se considera el formato de la imagen aisladamente, se verá que nada en ella ofrece la posibilidad de ayudar a interpretar su contenido. Una imagen fotográfica es un simple regis-



(a)



(b)

**FIGURA 4-5** La atención selectiva codifica ciertos aspectos de la imagen mejor que otros

(a) La escena del cumpleaños. (b) Más que representar la escena de la parte superior con la misma resolución en todos los puntos, las partes de la imagen a las que se ha atendido (en este caso, la tarta y los regalos) están representadas con mayor resolución que las partes a las que no se ha prestado atención (en este caso, la mesa y todo lo demás al fondo). Como resultado de esta distribución desigual de la atención, la imagen representa ciertas partes de la escena mejor que otras.

tro de energía lumínica que impresiona cada píxel; no contiene categorizaciones de entidades mayores en el conjunto de los píxeles. Pero las imágenes mentales son representaciones dentro de un sistema de procesamiento que las interpreta de forma específica; para entender las imágenes debemos considerar tanto la representación como el proceso que la acompaña. Un tema central en este capítulo será la importancia de interpretar las representaciones.

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

### Evidencia comportamental de las imágenes mentales

Aunque se ha recogido una cantidad considerable de datos anecdóticos acerca de las imágenes mentales, la evidencia científica comportamental fue investigada por Kosslyn. Informó de sus resultados en 1975, en «Information Representation in Visual Images» *Cognitive Psychology, 7*, 341-370.

**Introducción**

Es un hecho perceptivo obvio que cuando algo está muy cerca y es grande en el campo visual, es fácil de reconocer, pero cuando está lejos y es pequeño la tarea no es tan fácil. No tenemos problemas para reconocer a un amigo de pie a unos pocos metros, pero reconocer a ese amigo sería mucho más difícil si ambos nos encontráramos en los extremos opuestos de un campo de fútbol. El investigador se valió de este hecho perceptivo para demostrar que las personas tienen imágenes mentales.

**Método**

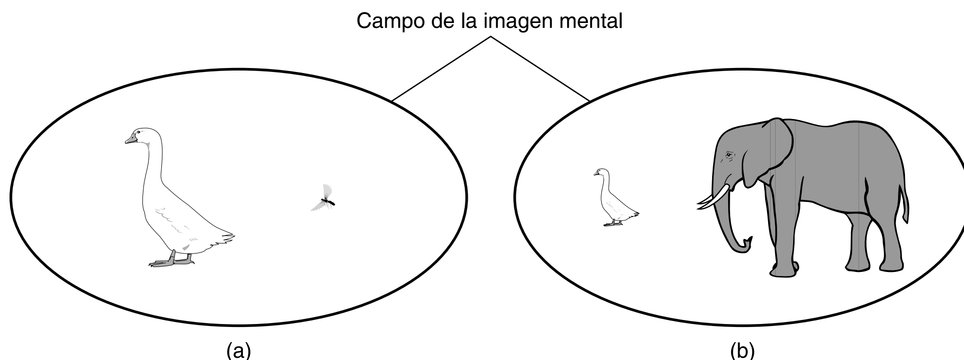
Se les pidió a los sujetos que imaginaran un elemento «objetivo» o «diana» (por ejemplo, un ganso) próximo a uno de los dos elementos de referencia, una mosca o un elefante. Cada par de elementos tenía que llenar el marco de la imagen mental del sujeto y, en cada caso, se tenía que mantener el tamaño proporcional del elemento diana respecto al elemento de referencia. (Así pues, la imagen del ganso debería ser mayor cuando se emparejaba con la mosca que cuando se emparejaba con el elefante). Mientras que mantenían en mente una de estas dos parejas de imágenes, bien el ganso y la mosca o bien el ganso y el elefante, los sujetos oían el nombre de la propiedad (por ejemplo, «patas») y tenían que decir tan pronto como les fuera posible, recurriendo a su imagen mental, si el animal diana tenía o no esa propiedad; a los sujetos se les dijo que si el animal tenía la propiedad, deberían ser capaces de localizarla en la imagen.

**Resultados**

Los sujetos fueron más rápidos (promedio: 211 milisegundos) en verificar las propiedades cuando imaginaban los elementos diana próximos a la mosca que los próximos al elefante. En una condición de referencia (control), en la cual los sujetos visualizaban moscas enormes y elefantes diminutos cerca de animales de tamaño normal, los resultados se invirtieron —los sujetos eran más rápidos cuando el animal buscado se visualizaba cerca de un elefante diminuto—. Así pues, no era la mosca ni el elefante en sí mismos lo que producía los resultados, sino su tamaño en comparación con el del animal que se buscaba.

**Discusión**

El hallazgo establece un paralelismo con lo que motiva la observación, a saber, que es más fácil reconocer un amigo que está cerca que hacerlo a través de un campo de fútbol. Cuando se imaginaba un elemento determinado como relativamente grande (cerca de una mosca) era más fácil procesarlo visualmente que cuando se imaginaba como relativamente pequeño (próximo a un elefante). Cuando la propiedad que se oía se hacía más grande en la imagen, era más fácil identificarla. A partir de este resultado, el investigador concluyó que los sujetos se valían de las imágenes para responder a las preguntas que se les hacían y para verificar las propiedades que escuchaban.




¿Qué es lo que vemos en el campo de la imagen mental? (a) En unos ensayos, se les pidió a los sujetos que se imaginaran un objeto o elemento «diana», por ejemplo un ganso, cerca de una mosca. Después se les pidió que completasen el campo de la imagen con los dos objetos, manteniendo su tamaño relativo real (esto es, conservando el ganso mucho más grande que la mosca). (b) En otros ensayos, se les pidió que imaginasen el mismo objeto cerca de un elefante, también en esta ocasión completando el campo visual y manteniendo sus tamaños relativos. El tamaño del objeto clave (en este caso, el ganso) era mayor en términos absolutos cuando se le imaginaba cerca de la mosca que cuando se le imaginaba cerca del elefante. En consecuencia, partes del objeto clave (por ejemplo, las patas del ganso) eran mayores cuando estaban cerca de la mosca y podían «verse» más rápidamente. Este resultado aporta una prueba comportamental de que utilizamos imágenes para verificar las propiedades de los objetos.

### 2.2.2. Representaciones específicas por modalidad: registro de características

A partir de este punto, las representaciones que consideraremos serán más sofisticadas que las que producen los artefactos que captan imágenes, tales como las cámaras. Se hará evidente que la inteligencia natural es superior a la tecnología actual cuando se trata de representaciones. El arte imitará a la naturaleza: el futuro de una tecnología sofisticada de la representación reside en llevar a cabo las representaciones naturales que vamos a examinar.

La esencia de una representación sofisticada reside en la categorización de entidades significativas. Una **entidad significativa** es un objeto o un suceso que juega un papel importante en la supervivencia de un organismo vivo y en su persecución de metas. Por lo contrario, un píxel es una entidad prácticamente sin significado. No sólo queremos saber si la luz incide en un punto particular del espacio; queremos saber qué representa un patrón particular de píxeles —o áreas de activación neural— en el entorno. Esto no significa que las imágenes sean inútiles. En realidad, las representaciones más significativas se derivan de imágenes.

El sistema visual de la rana presenta un caso de representación más sofisticada. Si fuéramos una rana, ¿qué sería lo más significativo para nosotros? Los insectos. ¿Qué necesita una rana para obtener insectos? Claramente, necesita un sistema motor que pueda capturar a un insecto que vuele por allí, pero antes de que pueda realizar esto ha de ser capaz de detectarlo. Aquí la naturaleza ha aplicado significado e interpretación al problema de la representación, llevando los sistemas naturales de representación más allá de las imágenes.

En un importante trabajo pionero (Lettvin *et al.*, 1959) se demostró que las neuronas del sistema visual de las ranas responden de modo distinto a pequeños objetos que se mueven dentro del campo visual de la rana (Figura 4-6). Estos investigadores insertaron electrodos en neuronas individuales del cerebro de una rana y variaron los

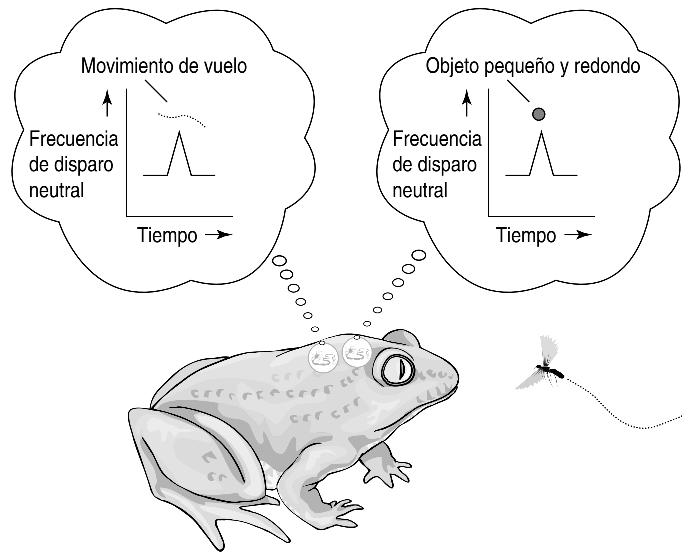



**FIGURA 4-6** La rana ve al insecto

En el cerebro de la rana, un grupo de neuronas está disparando en respuesta al pequeño objeto redondo; un segundo grupo está disparando en respuesta al movimiento de ese objeto. Conjuntamente, estos dos grupos de neuronas, interactuando con otros, permiten a la rana detectar la presencia de un objeto pequeño, redondo y volando.

estímulos —unas veces un objeto redondo y estacionario y otras un objeto en movimiento— frente a los ojos de la rana. Encontraron que ciertas neuronas se activaban en respuesta a pequeños objetos redondos (de forma muy independiente del movimiento), mientras que otras se activaban en respuesta al movimiento del objeto (de forma muy independiente del objeto). Al parecer, diferentes poblaciones de neuronas detectaban diferentes tipos de información en el campo visual.

La información que detectan estas neuronas es información significativa para las ranas: «pequeño, redondo» y «en movimiento» son características de los insectos voladores. En los dos capítulos precedentes se han examinado las características, pero ahora se revisarán desde un nuevo punto de vista: una **característica** es un aspecto sensorial significativo de un estímulo que se percibe. A diferencia de un píxel, que registra toda la luz que incide en él formando una acumulación de información general e indiferenciada, estas neuronas de la rana responden tan sólo cuando en la escena hay información significativa para la rana. Se les puede engañar si un objeto pequeño, redondo y el movimiento en el campo visual de la rana no es un insecto —pero en la naturaleza, probablemente *sea* un insecto y esto es lo importante—. La función de esas poblaciones neuronales es detectar entidades en el entorno que sean significativas para las ranas. No constituyen una imagen fragmentada, o de cualquier otro modo, del campo visual. En vez de eso, *interpretan* regiones de imágenes como indicativas de la presencia de una característica particular. Cuando estas neuronas detectoras de características se activan, clasifican una región de una imagen como conteniendo una característica significativa de un objeto o un suceso. La detección de características no se lleva a cabo mediante neuronas individuales sino mediante poblaciones de neuronas. Esto permite una respuesta gradual en vez de una respuesta «todo o nada» y es, por lo tanto, más fiable. Además, estas neuronas suelen responder a más de una sola

característica y la información a la que responden puede cambiar tanto con la experiencia como con la meta del organismo en un momento dado (véase, por ejemplo, Crist *et al.*, 2001).

¿Cumplen las neuronas detectoras de características los criterios de una representación? Sí. En primer lugar, la intencionalidad: han sido perfeccionadas por la evolución para representar, para intuir, sucesos en el entorno: insectos. En segundo lugar, la información: las neuronas por sí mismas, mediante su activación, llevan información sobre el entorno ¿La prueba? Si una rana parpadea (cierra sus ojos), estas neuronas, una vez activadas, *continúan* disparando y transmitiendo información acerca de la entidad que, en conjunto, representan un insecto.

Como se vio en el Capítulo 2, el descubrimiento de neuronas cerebrales que detectan características revolucionó el campo de la percepción. Desde entonces ha habido cientos, si no miles, de estudios de seguimiento, y se ha aprendido mucho acerca de tales poblaciones de neuronas en el sistema visual del primate. Ejemplos de las etapas de procesamiento a las que contribuyen dichas poblaciones se ilustran en la Figura 4-7. Como se vio en el Capítulo 2, según se transmiten las señales visuales a lo largo de las vías que van desde la corteza visual primaria, en el lóbulo occipital, a los lóbulos temporales y parietales, se extraen varios tipos de características, tales como la forma, la orientación, el color y el movimiento de los objetos. Además, a lo largo de la vía de procesamiento, poblaciones de neuronas asociativas, como su nombre sugiere, integran la información de las características extraída anteriormente formando representaciones de objetos. Las neuronas asociativas, por ejemplo, podrían integrar información relativa a tamaño, forma y movimiento para establecer una representación característica de un insecto volador, lo que puede ser de interés tanto para los seres humanos como para las ranas, especialmente en verano.

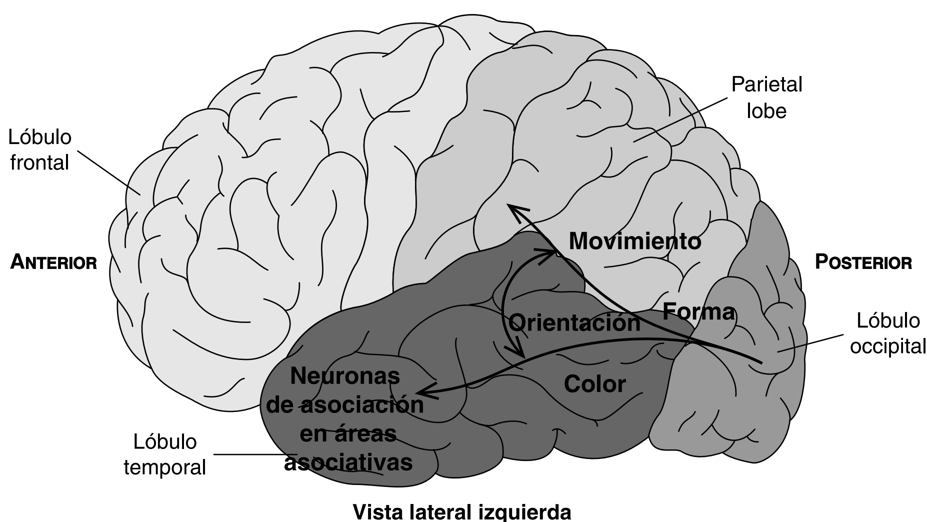



**FIGURA 4-7** Sistemas de procesamiento visual en el cerebro humano

A partir del *input* visual, grupos de neuronas obtienen información sobre forma, color, orientación y movimiento, además de otras características, a lo largo de vías que van por los lóbulos occipital, temporal y parietal. En las últimas etapas del procesamiento, las neuronas asociativas de varias regiones del cerebro, como el lóbulo temporal, combinan estas características para formar representaciones completas de las características de las entidades que se perciben.

El conjunto de detectores de características activos durante el procesamiento de un objeto visual constituye una representación de tal objeto. Este formato de representación, al contrario que una imagen, no es descriptivo: sus elementos no corresponden a puntos de contraste espaciales o a los bordes del objeto. En vez de eso, extrae diferentes características significativas del objeto, esto es, aspectos de entidades significativas que se encuentran en el entorno de un organismo. Esta representación, construida a partir de características, complementa una imagen del mismo objeto que podría residir en áreas iniciales, organizadas topográficamente.

Los investigadores han encontrado poblaciones de neuronas detectoras de características para todas las modalidades sensitivas, no sólo para la visión. También existen sistemas de detección de características en la audición, en el tacto, en el gusto y en el olfato (véase, por ejemplo, Bear *et al.*, 2002)

## 2.2.3. Símbolos amodales

Las representaciones de modalidad específica radican en los sistemas perceptivos y motores del cerebro y por lo tanto están relacionadas perceptivamente con los objetos que representan. ¿Es posible que existan representaciones *amodales* que estén construidas a partir de símbolos arbitrarios y abstractos? La opinión dominante es que «sí», pero la pregunta todavía sigue abierta (véase el recuadro *Debate).*

¿Cómo pueden operar los símbolos amodales? Imaginemos la escena del cumpleaños, tal como se representa en la Figura 4-8a. Una imagen de esa escena radica en una de las etapas de procesamiento iniciales en el sistema visual. Más adelante, a lo largo de la vía ventral, se activan los detectores de características que representan aspectos de entidades significativas. Finalmente, los símbolos amodales —abstractos y arbitrarios— describen las propiedades y relaciones entre las entidades significativas de la escena (véase p. 13). En las Figuras 4-8a-c se presentan algunos ejemplos de lo que estos símbolos podrían representar.

Por lo general se asume que los símbolos amodales, al estribar fuera de las modalidades y con características que no son de modalidad específica, radican en un sistema de conocimiento que construye y maneja descripciones de estados perceptivos y motores. Por lo tanto, las representaciones amodales de la Figura 4-8 describen el contenido de un estado visual, pero su fundamento está fuera del sistema visual y son parte de un sistema más general que se utiliza en el lenguaje y en otras tareas que no implican a la visión *per se*.

El contenido de las representaciones amodales de la Figura 4-8 son símbolos tales como *ENCIMA, A LA IZQUIERDA DE, velas*. Así pues ¿las representaciones amodales son palabras? Desde luego, no hay nada en los trazos que constituyen la palabra *velas* (o *candles* en inglés, o *bougies* en francés) que los relacione con una vela percibida visualmente (o táctilmente). Así pues, la respuesta es: se parece a, pero no es, un cigarro. Los investigadores que estudian la idea de los símbolos amodales creen que los símbolos amodales y las palabras *son dos cosas diferentes*, que las palabras *representan* a los símbolos amodales subyacentes. Según este punto de vista, subyacente, por ejemplo, a la palabra *velas* hay un símbolo amodal en el cerebro, que representa a las velas. Para dejar clara esta distinción, los investigadores pudieron utilizar un símbolo tal como @ para representar los objetos que son *velas*. Pero utilizaron la palabra *velas*, de modo que es más fácil ver lo que el símbolo representa.

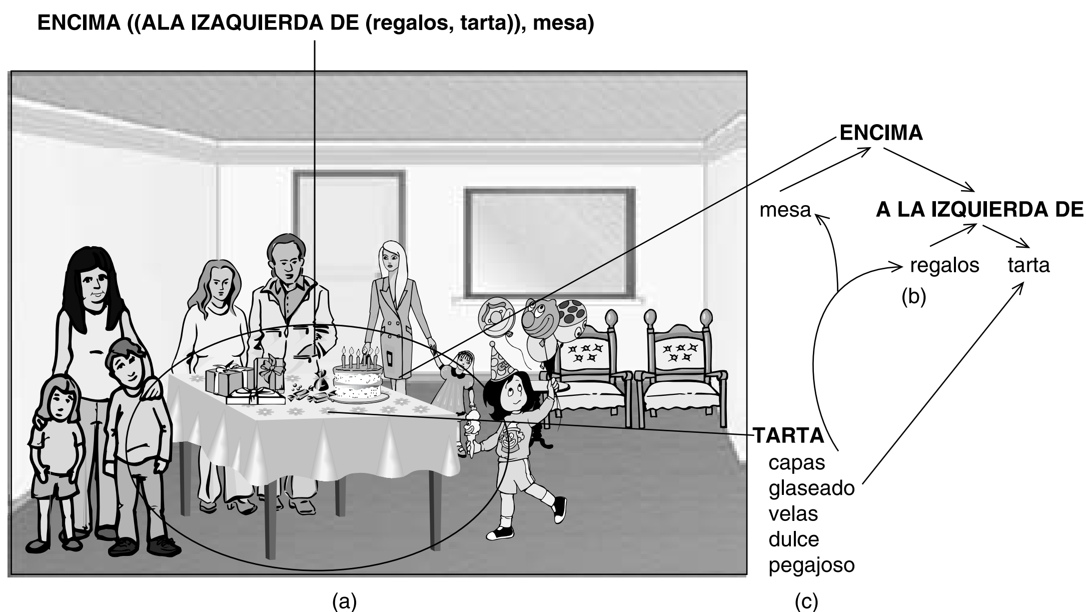



**FIGURA 4-8** Tres representaciones amodales de elementos de la escena del cumpleaños a la izquierda

(a) Un marco, (b) una red semántica y (c) una lista de propiedades. Aunque aquí, para mayor claridad, se utilizan palabras, se asume que las representaciones amodales se construyen con símbolos no lingüísticos.

Los símbolos amodales citados en la Figura 4-8 constituyen tres tipos de representaciones amodales: *marcos, redes semánticas y listas de propiedades*. Un **marco** es una estructura, más que una expresión algebraica, que especifica un conjunto de relaciones que unen objetos del entorno. Por ejemplo, el marco en la Figura 4-8a especifica que los regalos están a la izquierda de la tarta, y que esta configuración a la «IZQUIERDA DE» está «ENCIMA DE» la mesa. Una **red semántica** (Figura 4-8b) representa esencialmente las mismas relaciones y objetos en forma de diagrama. Una **lista de propiedades** enumera las características de las entidades que pertenecen a una categoría. Por ejemplo, la lista de propiedades de la Figura 4-8c quita alguna de las propiedades de una tarta como el glaseado o las velas. Al contrario que los marcos y las redes semánticas, las listas de propiedades omiten las relaciones entre las propiedades. ¿Cómo pueden las propiedades en una lista de propiedades diferir de las características en los registros de modalidad específica? En primer lugar, los símbolos que representan propiedades en una lista de propiedades son amodales y están fuera de los sistemas perceptivo y motor, mientras que las características en los registros de modalidad específica son modales y están dentro de un sistema perceptivo o motor (por ejemplo, la visión). En segundo lugar, las propiedades en una lista de propiedades captan aspectos relativamente abstractos de un objeto, tales como la presencia de un glaseado, mientras que las características en los registros de modalidad específica tienden a captar los detalles perceptivos fundamentales, tales como los bordes y el color.

Los símbolos amodales complementan las imágenes en el sentido de que clasifican, significativamente, las regiones de una imagen —no sólo registran puntos de luz u otros datos sensoriales—. Los símbolos amodales continúan el proceso de interpre-

DEBATE

### ¿Existen representaciones amodales?

A pesar de haber resultado tan útiles para construir una teoría, nunca se ha comprobado en el cerebro un caso empírico consistente de símbolos amodales (Barsalou, 1999). En cualquier caso, la idea de los símbolos amodales ha dominado las teorías de la representación durante décadas. A muchos les atraen las razones teóricas. En primer lugar, los símbolos amodales proporcionan un medio eficaz de expresar el contenido significativo de las imágenes representando los objetos (y sus propiedades) y las relaciones entre ellos. En segundo lugar, de la teoría de los símbolos amodales se derivan fácilmente funciones importantes del conocimiento tales como la categorización, la deducción, la memoria, la comprensión y el pensamiento (véase, por ejemplo, J. R. Anderson, 1976, 1983; Newell, 1990; Newell y Simon, 1972). En tercer lugar, la idea de los símbolos amodales ha permitido que los ordenadores pongan en práctica el conocimiento; las representaciones descriptivas amodales se pueden aplicar con facilidad en los ordenadores.

Pero los símbolos amodales presentan una laguna teórica así como una falta de base empírica. ¿Cuáles son sus mecanismos?, ¿qué procesos relacionan las regiones de las imágenes visuales con los símbolos amodales pertinentes? O a la inversa, cuando el símbolo amodal de un objeto se activa en la memoria, ¿cómo activa el símbolo las representaciones visuales de la apariencia del objeto? Nadie ha ideado aún una teoría convincente de cómo los símbolos amodales llegan a relacionarse con los estados perceptivo y motor. Los teóricos encuentran cada vez más fallos en la idea de los símbolos amodales (véase, por ejemplo, Barsalou, 1999; Glenberg, 1997; Lakof, 1987; Newton, 1996). Algunos investigadores la están desechando, arguyendo que otros formatos subyacen a la representación cerebral del conocimiento.

tación que comenzó cuando los detectores de características clasificaron las propiedades elementales de las imágenes con la finalidad de identificar entidades con significado. En la red semántica representada en la Figura 4-8c, el símbolo amodal de *tarta* clasifica la región respectiva de la imagen como un tipo particular de objeto. La misma región pudo clasificarse de modo diferente si se le hubieran asignado signos amodales diferentes que clasifican la misma entidad de modos diferentes: *postre, pastel, comida que engorda*. Por otra parte, un símbolo pudo clasificar una entidad de forma imprecisa: podríamos haber vislumbrado la tarta en la oscuridad y clasificarla como un sombrero —lo que hubiera conducido a un desastre cuando nos lo pusiéramos en la cabeza.

## 2.2.4. Modelos estadísticos en redes neurales

Aunque los símbolos amodales funcionan bien en los ordenadores, no está claro cuán bien podrían trabajar en los sistemas biológicos. Otra forma posible de representación es la red neural, un concepto en el cual la tarta en la escena de cumpleaños se representa por un patrón estadístico tal como 11001010000101 (Figura 4-9), lo cual ofrece una panorámica más amplia que el sistema modal por dos razones (Smolensky, 1988).

Primera, los elementos de un patrón estadístico se pueden ver como neuronas o poblaciones de neuronas que están «on» (activadas) u «off» (desactivadas) —que disparan o no disparan—. Cada 1 en el patrón representa una neurona (o población de neuronas) que dispara y cada 0 representa una que no lo hace. Así, el enfoque estadístico tiene una interpretación neural natural que lo hace un candidato plausible para la representación biológica. Segunda, mientras que en un sistema modal un único símbolo amodal representa habitualmente a una categoría, en una red neural, múltiples




**FIGURA 4-9** La tarta de la escena del cumpleaños puede representarse mediante modelos estadísticos

Un 1 o un 0 indican si una neurona determinada de un grupo de neuronas está disparando (1) o no (0). Diferentes modelos estadísticos pueden representar versiones ligeramente diferentes del mismo objeto (por ejemplo, una tarta), aunque dichos modelos por lo general son muy parecidos.

modelos estadísticos pueden representar la misma categoría, como en la Figura 4-9. La flexibilidad que ofrecen los diversos modelos estadísticos reflejan la realidad del entorno: no todas las tartas son exactamente la misma. Debido a que las tartas difieren, sus representaciones deberían diferir así mismo. Y debido a que incluso diferentes tartas pueden ser más similares unas a otras de lo que lo son a las mesas, las representaciones de las tartas deberían ser más parecidas unas a otras que a las representaciones de las mesas. Aunque las representaciones que podrían simbolizar a una tarta difieren en alguna medida, por lo general serán muy similares. Los modelos estadísticos captan estas intuiciones.

Por estas dos razones, las representaciones estadísticas del conocimiento se han ido haciendo cada vez más interesantes para los investigadores. Aunque los símbolos amodales siguen utilizándose ampliamente, los modelos que se basan en aproximaciones estadísticas son cada vez más plausibles.

## 2.3. Múltiples formatos de representación en la percepción y la simulación

Algunos investigadores han argumentado que a todo conocimiento subyace un formato de representación descriptivo. Pero el cerebro es un sistema complejo y el conocimiento se utiliza de muchas formas: las representaciones juegan muchos papeles en la miríada de procesos que constituyen la cognición. No es creíble que un solo formato pueda servir para todos estos papeles; es mucho más factible que se requieran múltiples formatos —imágenes, detectores de características, símbolos amodales y modelos o pautas estadísticas—.

Imaginémonos otra vez viendo la escena de la fiesta de cumpleaños. Al percibir esa escena, nuestro cerebro construye una imagen visual algo fragmentada de ella, en su mayor parte en la corteza occipital. A medida que se elabora esta imagen, sistemas detectores de características en regiones concretas de los lóbulos occipital, temporal y parietal extraen de ella las características significativas. Finalmente, se activa un modelo estadístico en los lóbulos temporales para representar la información de la imagen y de las características extraídas previamente, y para asociar toda esa información (Figura 4-10a). Debido a que las neuronas que representan la pauta estadística son neuronas asociativas (esto es, tienen una función de integración), las neuronas activadas por la imagen, junto con las neuronas activadas por el análisis de las características, se asocian todas ellas con las neuronas que representan la pauta estadística. Cada elemento del modelo estadístico establece asociaciones retroactivas con las unidades de imagen y de características que la han activado. En conjunto, esta secuencia de fases de procesamiento establece una representación de la escena en múltiples niveles cuando se percibe.

Es posible, por así decirlo, «rebobinar la película». En un proceso conocido como **simulación**, un modelo estadístico puede reactivar la información de la imagen y de características incluso cuando la escena original ya no esté presente (Figura 4-10b). Por ejemplo, supongamos que, al día siguiente, un amigo nos recuerda lo grande que era la tarta. Las palabras de nuestro amigo activan el modelo estadístico de la información integrada almacenada de la tarta en el momento que la vimos y la probamos. Ahora, de un modo arriba a abajo, ese patrón estadístico reactiva parcialmente las características obtenidas de la tarta, junto con aspectos de la imagen que la representa. La estructura asociativa que liga toda esta información nos permite simular la experiencia original. Mientras que un procesamiento de abajo a arriba a través de un siste-

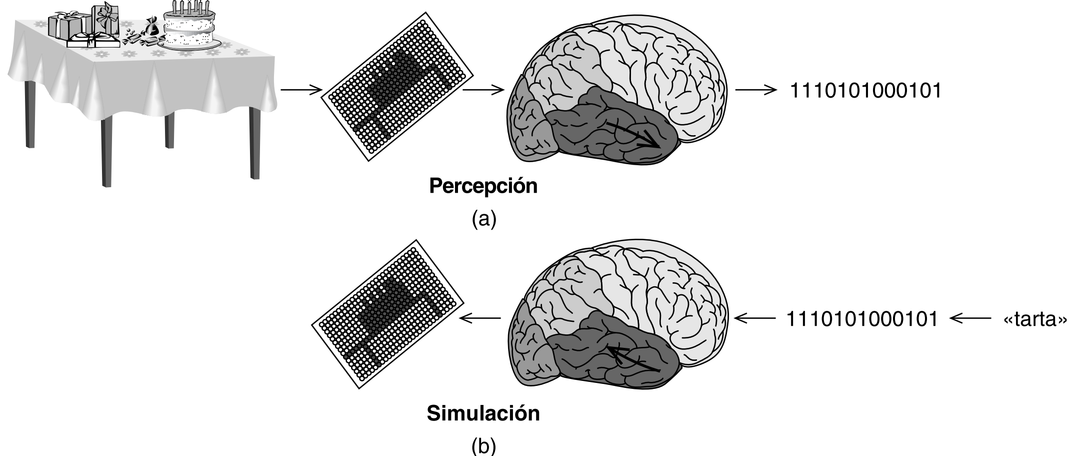



**FIGURA 4-10** Procesos de percepción y simulación

(a) Niveles de procesamiento que ocurren durante la percepción de una escena: una imagen fragmentada en el lóbulo occipital; obtención de características en los lóbulos occipital, temporal y parietal; e integración de esta información siguiendo un modelo estadístico, posiblemente en el lóbulo temporal. (b) Ejemplo del proceso de simulación, que supuestamente es el proceso inverso al de la parte (a). Oír a alguien decir la palabra *tarta* puede activar el modelo estadístico que se ha utilizado antes para integrar la información sobre la tarta en la escena del cumpleaños, que ahora pertenece al pasado. A su vez, el modelo estadístico reactivaría en parte las características que se han obtenido de la tarta junto con la imagen que la acompaña.

ma perceptivo produce una representación estadística, un procesamiento de arriba a abajo que vuelve por otra vía reconstruye, al menos parcialmente, el procesamiento visual original. Esta capacidad de procesamiento de arriba a abajo nos permite crear imágenes mentales y recordar sucesos pasados. Se discutirá más acerca de cómo operan las simulaciones mentales en el Capítulo 11.



*Control de comprensión*



1. ¿Qué formatos de representación es probable que existan en el cerebro? ¿Por qué?
2. ¿Cómo podrían operar juntos en el cerebro múltiples formatos de representación para representar y simular un objeto?

# 3 De la representación al conocimiento de categorías

La aspiración de un actor es proporcionar a la audiencia la «ilusión de la primera vez», —la sensación de que lo que está ocurriendo en el escenario no ha ocurrido antes, ni en el mundo real ni en la representación de la noche anterior—. Pero la ilusión constante de la primera vez en la vida real puede conducir al caos y la confusión. Cuando llegamos a nuestra fiesta de cumpleaños carentes de conocimientos, la experiencia fue desconcertante. Las representaciones son los medios; el conocimiento es el fin. La pregunta a la que nos enfrentamos es cómo se crean amplios conjuntos de representaciones para proporcionar conocimientos sobre una categoría.

El conocimiento de categorías se elabora, en primer lugar, a partir del establecimiento de representaciones de los miembros individuales de una categoría y, en segundo lugar, a partir de la integración de esas representaciones. Sin duda alguna hemos conocido miembros de la categoría «tarta» en muchas ocasiones. En cada ocasión, una representación multiformato se estableció en el cerebro. ¿Como podrían llegar a integrarse las representaciones de esas diferentes tartas?

Consideremos las cinco tartas diferentes que aparecen en la Figura 4-11a. Cada tarta produce un modelo o pauta estadística que integra los resultados del procesamiento de su imagen y características. Debido a que las tartas son tan parecidas, producen modelos estadísticos similares, pero debido a que difieren en cierta medida, los modelos no son idénticos. Si estudiamos los cinco modelos individuales, podemos ver que 11-0--10-01-1 es común a los cinco (el guión indica una unidad que no es compartida por todas las tartas). Las ocho unidades que corresponden al 1 y al 0 en este modelo compartido ofrecen un modo natural de integrar los cinco recuerdos. Dado que los cinco recuerdos comparten estas unidades, todos los recuerdos se asocian al mismo «*hub*»[1] (Figura 4-11b). El resultado es la representación de una categoría. En un nivel, todos los miembros de la categoría llegan a estar relacionados gracias a las unidades estadísticas comunes que comparten. En otro nivel, estas unidades compartidas constituyen una representación estadística de la categoría, no sólo de un único miembro. (Aunque, como se explicará más adelante, los conceptos naturales son me-

[1] Punto central (*N. del T.*)

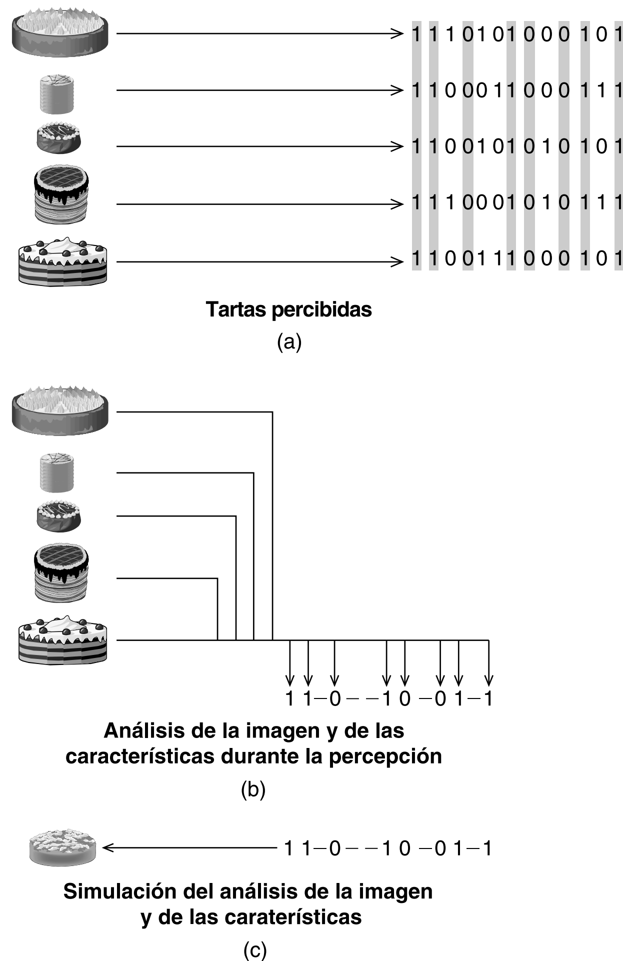



**FIGURA 4-11** Los recuerdos específicos de una categoría se integran para establecer un conocimiento de categorías

(a) Se representan con un único modelo estadístico cinco tartas específicas percibidas en distintas ocasiones; se han resaltado las unidades de asociación comunes a todas ellas. (b) Las unidades de asociación compartidas en los modelos estadísticos establecen una representación de la categoría «tarta». Más adelante, estas unidades compartidas conforman recuerdos de la imagen y del procesamiento de características que tuvo lugar en todas las tartas. (c) El modelo estadístico compartido se activa cuando falta una tarta determinada, produciendo una simulación de la imagen y del procesamiento de características que es aproximadamente un promedio de las tartas que se han conocido antes.

nos claros que este simple ejemplo —es difícil pensar en una característica que presenten *todas* las tartas posibles—.)

Por otra parte, las unidades compartidas ofrecen un modo de recuperar de la memoria miembros de una categoría. Puesto que todos los miembros de la categoría llegan a asociarse con un *hub* común, el *hub* actúa como un mecanismo para recordar los miembros de la categoría en ocasiones posteriores. Cuando la estructura asociativa actúa en modo de arriba a abajo (Figura 4-11c), el *hub* reactiva la imagen y el procesamiento de características asociado con un miembro de la categoría, y por lo tanto lo simula. En particular, este proceso a menudo puede mezclar recuerdos de múltiples miembros de categorías durante la recuperación y producir una combinación (véase,

p. ej., Hintzman, 1986). En consecuencia, el miembro simulado de la categoría a menudo puede ser más similar a un miembro típico de dicha categoría que a uno específico (como se representa en la Figura 4-11c). Este proceso de simulación de miembros típicos de una categoría proporciona un mecanismo para generar prototipos, según se describirá más tarde.

## 3.1. Poder deductivo del conocimiento de categorías

Una vez sabido el concepto de conocimiento de categorías, podemos empezar a comprender qué es lo que hace a los organismos más inteligentes que las cámaras. La fuerza del conocimiento de categorías se basa en que capta e integra diversos elementos de información relativos a una categoría. Cuando se encuentra a un nuevo miembro de la categoría, se activan los conocimientos que interesan de esa categoría general, lo que proporciona una enorme cantidad de información útil para ocuparse de esa nueva entidad. No somos como una cámara que opera exactamente del mismo modo, ya sea que el sujeto fotografiado esté posando por primera vez o que se le haya fotografiado antes un centenar de veces. A pesar de los mejores esfuerzos de nuestros padres, el cómo nos las arreglemos con la tarta el día de nuestro tercer cumpleaños probablemente dejó algo que desear, pero en nuestro vigésimo cumpleaños es de suponer que la tarta no acabó en nuestro cabello. Y cuando nos encontremos una nueva tarta en nuestra próxima fiesta de cumpleaños, nuestro conocimiento de categoría de las tartas de cumpleaños nos hará unos expertos en este asunto. Sabemos cómo actuar —soplar las velas, cortar la tarta, comer una porción—. Podremos predecir qué habrá dentro y casi seguro, qué gusto tendrá. Podremos explicar en líneas generales cómo se ha hecho y predecir lo que pasará si se la abandona durante unos días. Todas estas deducciones son posibles porque hemos integrado diversos elementos de información relativos a las tartas en un cuerpo de conocimiento de categoría. Incluso con sólo escuchar la frase «tarta de cumpleaños» sin que haya una tarta a la vista se activará nuestro conocimiento de la categoría de tartas el cumpleaños; puede que no sepamos si es de chocolate o de cabello de ángel, pero entenderemos de qué se está hablando. En cada caso, según se encuentre algo asociado con la categoría, se activará otro conocimiento. Debido a que nuestro conocimiento de categorías contiene diversos tipos de información que van considerablemente más allá de lo que está directamente ante nuestros ojos, podemos obtener muchas deducciones útiles y realizar varias funciones inteligentes (Bruner, 1957).

## 3.2. Naturaleza multimodal del conocimiento de categorías

Las tartas no sólo se contemplan, también se degustan, se huelen, se tocan y se actúa con ellas; quizá una modalidad sensorial en la que no se experimenta mucho con las tartas es la audición. Por otra parte, las guitarras se escuchan, se ven, se tocan y se actúa sobre ellas, pero no se degustan ni se huelen. Dependiendo de la categoría, sobresale un perfil de información diferente de entre las seis modalidades de visión, audición, acción, tacto y olfato (Cree y McRae, 2003). La emoción y la motivación ofrecen otros modos de experiencia que forman parte de una representación de categoría. Las tartas se asocian con una emoción positiva, las bajas calificaciones con

emociones negativas; los restaurantes se asocian con la sensación de hambre y las almohadas con la de somnolencia. El nombre mismo de una categoría abre la puerta al conocimiento de la categoría: ya sea al escuchar el nombre, al verlo en su forma de señal de lenguaje o, para los alfabetizados, al ver su ortografía (esto es, cómo se escribe) o sintiendo su configuración en Braille.

Obviamente, la integración es la clave: ¿cómo hace el cerebro esto, combinar el nombre de la categoría y toda la información pertinente de entre las modalidades? Una propuesta es la teoría de zona de convergencia (Damasio, 1989. Para más detalles, véase Simmons y Barsalou, 2003). Una **zona de convergencia** (también llamada **área de asociación**) es un grupo de neuronas «conjuntivas» (asociativas) que asocian información de características dentro de una modalidad. Estos patrones integran la información de una imagen y del análisis de características dentro de una modalidad sensorial dada, como puede ser la visión. En lo que concierne a las tartas, la imagen y la información de características podría igualmente estar integrada dentro de la modalidad gustativa y dentro de las modalidades olfativa, táctil y de acción. Muchas investigaciones neurocientíficas indican que las áreas de asociación almacenan información de modalidad específica (véase, por ejemplo, Tanaka, 1997).

Damasio (1989) propuso además que las zonas de convergencia de nivel superior situadas en los lóbulos temporal, parietal y frontal integran el conocimiento de categorías de *diversas* modalidades, junto con el nombre de la categoría. (Repárese en que una zona de convergencia *no* es de una modalidad específica, lo que sugiere la importancia de los «símbolos» amodales). En general, estas zonas de convergencia de nivel superior integran la información procedente de neuronas asociativas que se localizan en zonas de convergencia anteriores y son de una modalidad específica. Así pues, una zona de convergencia del lóbulo parietal podría integrar información de neuronas asociativas de las áreas visual y motora, las cuales a su vez integran características visuales y motoras específicas. O bien, las zonas de convergencia del lóbulo temporal izquierdo anterior podrían integrar los nombres de las categorías con el conocimiento de categorías. En todo el cerebro, las zonas de convergencia integran el conocimiento de categorías de varias maneras, un conocimiento de categorías como éste capta el carácter multimodal de los miembros de la categoría. En consecuencia, se integran todas las características pertinentes de diversas modalidades relativas a una determinada categoría, de modo que se puedan recuperar todas juntas. Cuando pensamos en tartas, las zonas de convergencia de nivel superior activan el conocimiento de cómo saben, cómo huelen, qué aspecto tienen, cómo se perciben y cómo se comen.

Si las zonas de convergencia explican razonablemente el conocimiento de categorías, se derivan dos predicciones. En primer lugar, las simulaciones en las áreas cerebrales de modalidad específica deberían representar el conocimiento. Para representar el conocimiento del aspecto de una tarta, las zonas de convergencia pertinentes deberían reactivar las características que se han usado previamente para representar las tartas en la percepción visual. En segundo lugar, las simulaciones que representan una categoría deberían estar distribuidas a través de las modalidades particulares que son de interés para su procesamiento. Las simulaciones que representan a las «tartas» deberían aparecer no sólo en el sistema visual sino también en los sistemas gustativo y motor. Tanto los datos comportamentales como los neurales apoyan cada vez más estas predicciones (para revisiones, véase Barsalou, 2003b; Barsalou *et al.*, 2003; Martin, 2001).

## 3.3. Mecanismos multimodales y conocimiento de categorías: datos comportamentales

Si las simulaciones en los sistemas perceptivos subyacen al conocimiento, entonces debería ser posible demostrar la contribución de los mecanismos perceptivos a la representación de categorías. Para investigar esta posibilidad, los investigadores se centraron en el mecanismo perceptivo del **cambio de modalidad**, un proceso en el cual se cambia la atención de una modalidad a otra, como, por ejemplo, de la visión a la audición (Pecher *et al.*, 2003). Los investigadores han demostrado que el cambiar de modalidad requiere tiempo. En un estudio, los sujetos tenían que detectar si un estímulo —que podía ser una luz, un tono o una vibración— ocurría a la izquierda o a la derecha (Spence *et al.*, 2000). Debido a que los diversos estímulos se mezclaron aleatoriamente, los sujetos no tenían forma de predecir qué tipo particular de señal iba a ocurrir en un ensayo determinado. Cuando cambiaba la modalidad de la señal entre dos ensayos, los sujetos tardaban más en detectar la segunda señal que cuando la modalidad seguía siendo la misma. Por ejemplo, tardaban menos en detectar un tono cuando el estímulo previo era un tono que cuando era una luz o una vibración. Cambiar entre modalidades implica un coste.

Pecher y colegas (2003) predijeron que el mecanismo perceptivo del cambio de modalidad debería encontrarse no sólo la percepción sino también en el procesamiento de categorías. Razonaron que si las simulaciones representan el conocimiento de la categoría, entonces cuando se procesa información sobre categorías se debería incurrir en costes de cambio análogos a aquellos en los que se incurre cuando se procesa información perceptiva. Los sujetos de este estudio tenían que verificar las propiedades de objetos. En un ensayo dado, la palabra para una categoría (por ejemplo, «tartas») se seguía de una palabra para una posible propiedad, presentándose ambas palabras visualmente. La mitad de las veces la propiedad era cierta para la categoría («glaseado») y la otra mitad de las veces era falsa («corteza»). Al igual que en el experimento previo de percepción, en algunas ocasiones las propiedades se referían a la misma modalidad en dos ensayos consecutivos: un sujeto podía verificar que «sin corteza» es una propiedad de las «hojas» y en el ensayo siguiente verificar que «ruidoso» es una propiedad de las «mezcladoras». Sin embargo, en la mayoría de los casos, las propiedades en los dos ensayos consecutivos se referían a modalidades diferentes.

Pecher y colegas (2003) encontraron que cambiar de modalidad en esta tarea de verificación de propiedades producía un coste de cambio, al igual que en el experimento de percepción realizado por Spence y colegas (2000). Cuando los sujetos tenían que cambiar entre modalidades para verificar una propiedad, empleaban más tiempo que cuando no lo tenían que hacer. Este hallazgo es coherente con la idea de que los mecanismos perceptivos se utilizan en la representación del conocimiento de categorías: parecía ser que para representar las propiedades de las categorías, los sujetos las simulaban en sus respectivas modalidades.

Otros muchos hallazgos comportamentales demuestran igualmente que los mecanismos perceptivos intervienen en la representación del conocimiento de categorías. Se ha demostrado que los mecanismos visuales que procesan la oclusión, el tamaño, la forma, la orientación y la similitud afectan todos ellos al procesamiento de categorías (véase, por ejemplo, Solomon y Barsalou, 2001, 2004; Stanfield y Zwaan, 2001; Wu y Barsalou, 2004; Zwaan *et al.*, 2002). Se ha hallado que también los mecanismos motores juegan un papel crucial en ello (véase, por ejemplo, Barsalou *et al.*, 2003; Glenberg

y Kaschak, 2002; Spivey *et al.*, 2000). En diversas modalidades sensoriales, los datos comportamentales implican cada vez más a las representaciones basadas en la modalidad en el almacenamiento y la aplicación del conocimiento de categorías.

## 3.4. Mecanismos multimodales y conocimiento de categorías: datos neurales

Cuando se habla de mecanismos de modalidad específica, conclusiones derivadas de datos comportamentales, no importa cuán sugestivas sean, tienen sus límites. Los experimentos comportamentales no evalúan directamente los mecanismos cerebrales. Pero las pruebas de neuroimagen sí lo hacen, y gran parte de los datos a favor del soporte perceptivo del conocimiento de categorías procede de las investigaciones de neuroimagen. En este tipo de estudios, se obtiene una TEP o una RMf de los sujetos mientras realizan diversas tareas relacionadas con categorías, como puede ser denominar objetos que se presentan visualmente (por ejemplo, un perro), escuchar los nombres de categorías (por ejemplo, martillo), expresar las propiedades de una categoría (por ejemplo, «amarillo» para un limón) o verificar las propiedades de una categoría (por ejemplo, responder a la pregunta ¿corren los caballos?)

Por ejemplo, en un estudio realizado por Chao y Martín (2000) se pidió a los sujetos que observaran dibujos de objetos manipulables, edificios, animales y caras mientras se exploraba su cerebro mediante RMf. Los investigadores encontraron que cuando los sujetos veían objetos manipulables, como un martillo, se activaba un circuito cerebral que subyace al acto de asir objetos manipulables (Figura 4-12). Este circuito no se activaba al observar edificios, animales o rostros. En muchos trabajos previos se ha hallado que el circuito de prensión se activa cuando los monos y los seres humanos llevan a cabo actos con objetos manipulables y cuando observan a otros realizar este tipo de actos (véase, por ejemplo, Rizzolatti *et al.*, 2002). Aunque a los sujetos del experimento de Chao y Martin no se les permitió moverse mientras se les realizaba la exploración y aunque no vieron a otros sujetos actuando ni estos actos, el circuito de prensión se activó. Basándose en este resultado, los investigadores concluyeron que la activación del circuito de prensión establecía una deducción motora acerca de cómo actuar con el objeto percibido. Cuando los sujetos veían un objeto (por ejemplo, un martillo), accedían al conocimiento de categorías relacionado con él que incluía deducciones motoras (por ejemplo, «un martillo puede blandirse»). Al parecer, estas deducciones se representan en el sistema motor, como cabría esperar si las simulaciones mentales se utilizan para representar los objetos y sus categorías.

Muchos otros estudios de neuroimagen (para revisiones, véase Martin, 2001; Martin y Chao, 2001; Martin *et al.*, 2000) han demostrado que otras regiones de modalidad específica se activan cuando se procesan otros tipos de conocimiento de categorías. Guardando una correspondencia sorprendente, el conocimiento de categorías sobre color, forma y movimiento se procesa cerca de las áreas cerebrales respectivas que procesan esta información en la percepción visual (véase la Figura 4-13 en el inserto a color B). Cuando los sujetos recuperan las propiedades de forma de un objeto, un área de la circunvolución fusiforme que se superpone con las áreas de procesamiento de la forma visual se activa durante las exploraciones con TEP y con RMf. De forma similar, cuando los sujetos recuperan del conocimiento de categorías las propiedades de color de un objeto, se activa un área de la corteza occipital que se super-

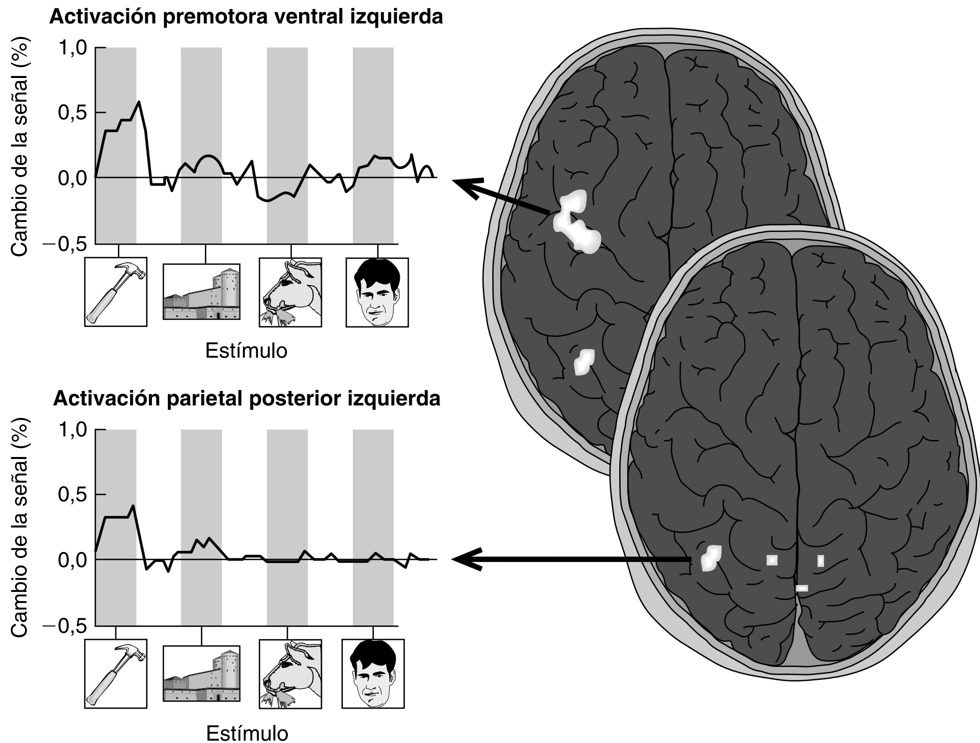



**FIGURA 4-12** Apoyo de los estudios de neuroimagen para el conocimiento de categorías

El circuito de prensión del hemisferio izquierdo (en los sujetos diestros) se activó sólo cuando los sujetos vieron imágenes de herramientas, no cuando vieron imágenes de rostros, animales o edificios.

pone con el área que procesa la percepción del color (V4). Cuando los sujetos piensan en realizar una acción con un objeto, se activan áreas motoras. Cuando los sujetos recuperan las propiedades de movimiento de un objeto, se activan regiones de la circunvolución temporal posterior que se superponen con las áreas visuales que procesan el movimiento. Cuando los sujetos recuperan los sonidos de objetos, se activa un área auditiva del cerebro (Kellenbach *et al.*, 2001). Y cuando los sujetos acceden al conocimiento de comidas se activan áreas gustativas del cerebro que representan el gusto (Simmons *et al.*, 2005). Tomados en conjunto, estos datos demuestran que la representación de la categoría de un objeto se distribuye a través de los sistemas perceptivos y motores del cerebro.



## *Control de comprensión*



1. ¿Cómo podrían integrarse en el cerebro las representaciones multimodales de los miembros de una categoría para establecer el conocimiento de la categoría?

2. ¿Qué datos neurales y comportamentales existen a favor de la hipótesis de que áreas cerebrales de modalidad específica están involucradas en la representación del conocimiento de categorías?

# 4 Estructuras del conocimiento de categorías

El conocimiento de categorías no es una masa indiferenciada de datos; contiene muchas estructuras diferentes, organizadas de muy diversos modos. Como se verá en este apartado, ejemplares, reglas, prototipos, conocimiento de base y esquemas, intervienen todos ellos en la elaboración del conocimiento de categorías que nos permite vivir una vida con consciencia de nosotros mismos y del mundo que nos rodea. Además, tenemos capacidades eficaces y dinámicas para utilizar dichas estructuras.

## 4.1. Ejemplares y reglas

Las estructuras más simples que contienen conocimiento de categorías son los recuerdos de miembros individuales de la categoría; éstos se conocen como **ejemplares**. La primera vez que vemos una clase de perro que no nos resulta familiar y se nos dice su raza, un recuerdo del perro se almacena junto con el nombre de la raza. A medida que vemos más perros de ese tipo, un recuerdo de cada uno asociará asimismo con el nombre de la raza y con otros recuerdos de dicha raza. Con el tiempo, de estos ejemplares de la categoría deriva un conjunto de recuerdos, todos ellos integrados en el almacén adecuado de la memoria (como se ilustró antes en la Figura 4-11a). Este tipo de contenido es relativamente sencillo, ya que cada tipo de recuerdo se almacena con independencia de los demás.

Una gran cantidad de investigaciones han señalado que el recuerdo de ejemplares es algo frecuente en nuestro conocimiento de categorías (véase, por ejemplo, Brooks, 1978; Lamberts, 1998; Medin y Schaffer, 1978; Nosofsky, 1984) y que juega un papel importante. Por ejemplo, a los sujetos en un estudio hecho por Allen y Brooks (1991) se les habló de dos categorías de animales imaginarios; los *constructores* y los *cavadores*. Cada animal podía tener patas cortas o largas, un cuerpo angular o redondeado y podía tener o no manchas. Una **regla** —esto es, una definición precisa de los criterios de una categoría— determinaba si un animal determinado era un *constructor* o un *cavador*:

> Un animal es un *constructor* cuando tiene *dos* o *tres* de las siguientes propiedades*: patas largas, cuerpo angular, manchas*. En otro caso es un *cavador*.

A algunos de los sujetos se les habló de la regla «*dos de tres*». A estos sujetos se les mostraron secuencias de dibujos de los animales imaginarios y se les pidió que indicaran cuáles eran *constructores* y cuáles *cavadores*. Es de suponer que utilizaron la regla para hacerlo, contando el número de propiedades fundamentales de cada animal. Si cometían un error, el investigador les indicaba la categoría correcta. Una vez que los sujetos demostraron que podían aplicar la regla para las categorías eficazmente, se les aplicó una prueba sin avisarles. En cada ensayo vieron un animal que no habían visto antes. Una vez más, debían decir si el animal era un *constructor* o un *cavador*, pero en esta ocasión el experimentador no decía si las categorizaciones eran correctas o incorrectas.

Allen y Brooks (1991) sospechaban que aunque los sujetos conocían una regla para establecer las categorías, podían, no obstante, haber estado almacenando recuerdos de los ejemplares y utilizándolos en la categorización. A raíz de investigaciones previas, los investigadores creían que el cerebro humano almacena y usa automática-

mente los recuerdos de cada ejemplar, incluso cuando no sea necesario hacerlo. ¿Pero cómo comprobar esto? La Figura 4-14 ilustra la ingeniosa técnica que utilizaron los investigadores. En la fase de prueba del experimento, se les mostró los sujetos algunos de los animales que habían visto previamente y otros nuevos. Dos de los nuevos eran *constructores*. Uno de estos difería sólo en una característica de los constructores vistos durante el entrenamiento en la tarea. Este tipo de correspondencia, entre dos entidades de la misma categoría, se conoce como un *emparejamiento positivo*. El otro ejemplar nuevo, al tiempo que cumplía la regla, se diferenciaba sólo en una característica de un *cavador* visto antes. Este tipo de correspondencia, entre dos entidades de categorías diferentes, es un *emparejamiento negativo*.

La predicción clave es ésta: si los sujetos no almacenan recuerdos del ejemplar y usan tan sólo la regla, los animales de emparejamiento positivo y negativo deberían ser igualmente fáciles de clasificar: ambos cumplen la regla de los constructores. Sin embargo, si los sujetos guardaron un recuerdo del ejemplar —aun cuando no tenían que hacerlo para realizar la tarea— entonces el animal emparejado negativamente, el cual compartía más características con el *cavador*, debería ser más difícil de clasificar correctamente que el animal de emparejamiento positivo.

¿Por qué? Pensemos en lo que ocurre cuando los sujetos se encuentran con el animal de emparejamiento negativo. Si, debido al entrenamiento, hay un recuerdo de un ejemplar de su equivalente, es probable que dicho recuerdo se active. Si lo hace, entonces dado que los dos animales son tan parecidos, compartiendo como lo hacen dos

| ENTRENAMIENTO | PRUEBA |
|---|---|
| Constructor conocido | Emparejamiento positivo (Constructor) |
| Cavador conocido | Emparejamiento negativo (Constructor) |

**FIGURA 4-14** Los constructores y cavadores originales

Columna izquierda: un *constructor* y un *cavador* que los sujetos examinaron mientras aprendían la regla para los *constructores*. Columna derecha: Emparejamientos positivos y negativos de la prueba. Un emparejamiento positivo era un *constructor* que sólo difería en una propiedad de un *constructor* examinado antes; un emparejamiento negativo era un *constructor* que sólo difería en una propiedad de un *cavador* examinado antes. Si los sujetos utilizan sólo reglas para clasificar a los *constructores*, los emparejamientos positivos y negativos deberían ser igualmente fáciles de clasificar, dado que ambos tienen dos de las tres propiedades de los *constructores*. Otra posibilidad es que, si los sujetos también utilizan ejemplares para clasificar a los *constructores*, el emparejamiento negativo debería ser más difícil de clasificar ya que es demasiado parecido a un miembro de la categoría errónea.
(Modificado de Allen, S. W. and Brooks, L. R. (1991). Specializing the operation of an explicit rule. *Journal of Experimental Psychology: General, 120*, pp 3-19, Fig. 1, p. 4. Copyright © 1991 American Psychological Association. Modificado con permiso).

características, el animal emparejado negativamente es un recordatorio del equivalente visto anteriormente. ¡*Pero el equivalente pertenecía a otra categoría*! Así pues, si el recuerdo del ejemplar está activo, la tentación de clasificarlo mal es fuerte: se da un conflicto entre el ejemplar y la regla.

¿Qué sucede cuando los sujetos se encuentran con el animal de emparejamiento positivo y el recuerdo del ejemplar está activo? De nuevo, debe recordárseles el animal similar que vieron en el entrenamiento, que en este caso es de la categoría correcta. En esta ocasión, ambos, la regla y el recuerdo del ejemplar, señalan la respuesta correcta.

Los números relataron la historia: los resultados demostraron claramente no sólo que se había guardado un recuerdo de los ejemplares sino que éste había ejercido un profundo impacto en la categorización. Los sujetos categorizaron correctamente los ejemplares de emparejamiento positivo en el 81% de las ocasiones, pero sólo categorizaron correctamente los ejemplares de emparejamiento negativo el 56% de las veces. Aunque los sujetos conocían una regla adecuada para categorizar todos los animales de la prueba, sus recuerdos de ejemplares anteriores perturbaron la categorización de los animales de emparejamiento negativo, causando un 25% más de errores que en las otras condiciones. Si no se ha guardado un recuerdo del ejemplar, no debería haber diferencias en la categorización de los animales de emparejamiento positivo o negativo, dado que ambos cumplían igual de bien la regla. Se han publicado muchos hallazgos similares indicando que los ejemplares son estructuras omnipresentes en el conocimiento de categorías.

¿Sugiere este hallazgo que almacenamos tan sólo ejemplares y no reglas? Antes de que podamos contestar, necesitamos ver la otra cara de la moneda. Un segundo grupo de sujetos recibieron el mismo entrenamiento, aprendiendo por retroalimentación del experimentador cuando sus clasificaciones eran correctas. ¿Cuál era la diferencia? A este segundo grupo no se le dijo la regla para categorizar *constructores y cavadores*. A estos sujetos «sin regla» se les enseñó entonces las mismas series y animales con emparejamientos positivos y negativos que a los integrantes del primer grupo de sujetos «con regla».

Resultan interesantes dos hallazgos. Al igual que los sujetos con regla, los sujetos «sin regla» fueron más precisos en el caso de animales de emparejamiento positivo (el 75% de las respuestas fueron correctas) que en el de animales de emparejamiento negativo (correcto el 15%). Para estos sujetos, la semejanza con los recuerdos de ejemplar jugó el papel principal en la categorización. El efecto de los recuerdos de ejemplar fue significativamente mayor en la condición «sin regla» (categorización en el emparejamiento negativo incorrecta: 85%) que en la condición con regla (categorización en el emparejamiento negativo incorrecta: 44%). Los sujetos «con regla» habían guardado una regla en su conocimiento de categorías que les hacía menos vulnerables a los recuerdos de ejemplar de lo que lo eran los sujetos «sin regla». Aplicando la regla en ciertas ocasiones, era más probable que los sujetos «con regla» clasificaran correctamente a los animales de emparejamiento negativo. Estos y otros resultados demostraron que podemos almacenar las reglas de categorías y no sólo ejemplares (véase, por ejemplo, Ashby y Maddox, 1992; Blok *et al.*, 2005; Nosofsky *et al.*, 1994).

Así, el estudio de Allen y Brooks (1991) estableció que, dependiendo de las condiciones de entrenamiento, adquirimos recuerdos de ejemplar, reglas o *ambos* para las categorías que aprendemos. Para corroborar estos hallazgos comportamentales con

datos neurales, se llevó a cabo un estudio de neuroimagen mientras los grupos realizaban la tarea, tanto en la condición «con regla» como en la «sin regla» (Patalano *et al.*, 2001; véase también E. E. Smith *et al.*, 1998). Los investigadores hicieron las siguientes predicciones: primera, en la condición «sin regla», las áreas cerebrales utilizadas deberían ser aquellas que almacenan recuerdos de ejemplar (ya que los ejemplares sólo se habían percibido visualmente, las regiones fundamentales de activación cerebral deberían localizarse en el sistema visual). Segunda, en la condición «con regla» las áreas del cerebro fundamentalmente utilizadas deberían ser aquellas que representan las reglas. (Dado que las personas ensayan mentalmente una regla mientras valoran su aplicación a los ejemplares, las áreas motoras que efectúan los actos del lenguaje implícitos en los ensayos deberían activarse).

Los resultados de las exploraciones cerebrales confirmaron las predicciones. En las condiciones «sin regla», la mayoría de las regiones activas se localizaron en las áreas occipitales en las que se procesa la visión. Como se había predicho, cuando los sujetos no conocían una regla, utilizaban primordialmente recuerdos visuales de los ejemplares para clasificar. En la condición «con regla», había zonas activas en las áreas motoras frontales. De nuevo, como se había predicho, cuando los sujetos conocían una regla la recitaban mentalmente y en silencio y las acciones del ensayo mental comprometían al sistema motor.

¿La conclusión? Diferentes sistemas cerebrales se activan para representar ejemplares y para representar reglas. Por otra parte, los sistemas particulares que se activan apoyan la idea de que el conocimiento de categorías está representado en áreas de modalidad específica: en las áreas visuales se representa el contenido de los ejemplares, las áreas motoras efectúan el proceso de ensayo de reglas. (Para revisar otros trabajos que también localizan diversas representaciones de categorías en el cerebro, véase Ashby y Ell, 2001).

## 4.2. Prototipos y tipismos

Los prototipos ofrecen otro modo de resumir una categoría de miembros. Mientras que un ejemplar ofrece una referencia para hacer una comparación directa, y una regla es un requerimiento estricto en cuanto a las propiedades que se requieren para pertenecer a una categoría, un **prototipo** especifica simplemente qué propiedades es *más probable* que se den en una categoría. En la Figura 4-15 se presenta un conjunto de nueve *constructores* nuevos. Estos nuevos *constructores* tienen varias combinaciones de cuernos, rabos, orejas y una joroba, al tiempo que las ya familiares patas largas, cuerpos angulares y manchas.

¿Qué estructuras podrían representar a estas nueve criaturas, ninguna de las cuales es idéntica a otra pero todas ellas *constructores*? Nueve recuerdos de ejemplar lo harían, pero esto parece ser demasiado costoso. Una regla podría resumir las propiedades que comparten. ¿Qué regla? Una posibilidad, que surge al inspeccionar este rebaño de nueve, es que una criatura que posea al menos dos de las siguientes cuatro características —patas largas, cuerpos angulares, manchas, cuernos— es un *constructor*. La regla es válida, pero complicada de aplicar.

Conocer el prototipo —esto es, saber qué combinación de propiedades es más probable que presente un *constructor*— parece el enfoque más eficaz en este caso. El prototipo de los nueve *constructores* es el conjunto de propiedades que ocurre más frecuentemente en los miembros de la categoría de *constructores*, excluyendo las pro-

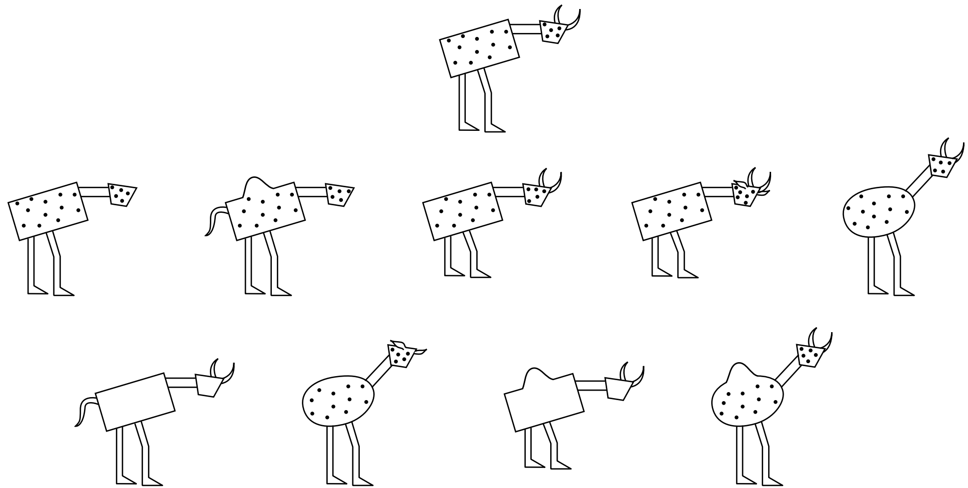


**FIGURA 4-15** Categoría de constructores aumentada

Estos *constructores* pueden tener propiedades adicionales de cuernos, colas, orejas o jorobas, junto con las propiedades habituales de patas largas, cuerpo angular o manchas. El prototipo de la categoría es un *constructor* que tiene cualquiera de las propiedades incluidas en, al menos, el 60 por ciento de la población de nueve *constructores*.

piedades poco frecuentes. Una propiedad poco habitual se define aquí como aquella que ocurre en menos del 40% de las ocasiones, lo que excluye los rabos, las orejas y la joroba. Todas las demás propiedades llevan al prototipo, luego el prototipo de un *constructor* es un animal con manchas, cuerpo angular, patas largas y cuernos. Ya que el prototipo resume la información estadística relativa a las propiedades más probables de la categoría, el *constructor* prototipo de la Figura 4-15 es el resultado de combinar las propiedades de manchas (que presentan el 78% de la población), cuerpo angular (67%), patas largas (67%) y cuernos (67%). Muchas teorías asumen que los prototipos se elaboran para representar categorías. (Para un examen más amplio de las teorías sobre prototipos, véase Barsalou, 1990; Barsalou y Hale, 1993; E. E. Smith y Medin, 1981; J. Smith y Minda, 2002).

Si una categoría tiene un prototipo, los miembros de la categoría similares al prototipo se consideran miembros típicos de la categoría, mientras que los miembros de la categoría que difieren del prototipo se consideran atípicos. Si el prototipo de ave indica que suelen volar, que anidan en árboles y que son pequeños, entonces los gorriones encajan bien en este prototipo: son típicos. Por otra parte, los avestruces, que no tienen ninguna de estas propiedades, no encajan en el prototipo y son, por lo tanto, atípicos. El tipismo no es una condición «sí o no». Las águilas se ajustan al prototipo medianamente bien y, por lo tanto, son medianamente típicas. En general, los miembros de una categoría varían continuamente en cuán similares son al prototipo; esto es, aves diferentes varían continuamente a lo largo de este continuo de tipismo desde muy típicos hasta muy atípicos. Estos *gradientes de tipismo* ocurren siempre en las categorías (Barsalou, 1987; Rosch, 1973). Se ha encontrado en toda categoría estudiada, incluso en las categorías con reglas precisas (véase, por ejemplo, Armstrong *et al.*, 1983).

Los gradientes de tipismo influyen marcadamente en cómo procesamos las categorías. Cuando aprendemos categorías, solemos aprender los miembros típicos de una categoría preferentemente a los atípicos (véase, por ejemplo, Merves y Pani, 1980).

Cuando clasificamos individuos, clasificamos los que son típicos más rápidamente que los atípicos (véase, por ejemplo, Rosch, 1975) y con mayor exactitud (véase, por ejemplo, Posner y Keele, 1968). Cuando hacemos deducciones de los miembros de una categoría, las más sólidas las obtenemos basándonos en los miembros típicos de una categoría en vez de en los atípicos (véase, por ejemplo, Osherson *et al.*, 1990; Rips, 1975). En general, los miembros típicos de la categoría disfrutan de una jerarquía privilegiada en el reino de las categorías.

Por lo general, dichos efectos del tipismo se han considerado como una señal de que los prototipos están implicados en la representación de las categorías (véase, por ejemplo, Hampton, 1979; Rosch y Mervis, 1975; E. Smith *et al.*, 1974). No obstante, pueden darse efectos de tipismo incluso si no se ha guardado en la memoria un prototipo de una categoría y sólo recuerdos de ejemplares representan la categoría (Medin y Schaffer, 1978). Muchas investigaciones han intentado determinar si los gradientes de tipismo son consecuencia de los prototipos, ejemplares o de otras formas de representación (véase, por ejemplo, Barsalou, 1985, 1987, 1990; Medin y Schaffer, 1978; J. Smith y Minda, 2002). Cualquiera que sea el modo en el que se originan los gradientes de tipismo, no hay duda que las categorías los tienen y que el tipismo es uno de los factores más importantes en la adquisición y uso del conocimiento de categorías.

## 4.3. Conocimiento de base

Un supuesto implícito que subyace a los recuerdos de ejemplar, reglas y prototipos es que las propiedades que los constituyen se procesan en el vacío. Para establecer un recuerdo de ejemplar de una silla, por ejemplo, el objeto percibido simplemente se añade a un conjunto de ejemplares memorizados de ese objeto. Para actualizar una regla o un prototipo, las nuevas propiedades percibidas simplemente se integran en la información de sus propiedades establecida previamente. En cualquier proceso de aprendizaje, las propiedades se acumulan en condiciones de relativo aislamiento. Sin embargo, cada vez más investigadores consideran que las propiedades por lo general activan un **conocimiento de base** en la memoria, que especifica cómo se originan las propiedades, porqué son importantes y cómo se relacionan unas con otras (véase, por ejemplo, Ahn y Luhmann, 2005; Goodman, 1955; Murphy y Medin, 1985). Más que procesarse en el vacío, las propiedades se procesan dentro de un amplio contexto de conocimientos asociados.

Por ejemplo, supongamos que alguien nos dice que un objeto tiene ruedas y una gran sábana de lona. Al representarnos mentalmente el objeto, ¿asumimos que tiene *sólo* esas dos características e imaginamos un conjunto de ruedas estacionarias unidas por un eje de lona? No. Probablemente, pudimos obtener las conclusiones adicionales de que la lona es una vela, que el objeto utiliza la fuerza del viento para rodar por el suelo y que este «velero terrestre» tiene otras partes tales como un eje metálico, un mástil y un asiento. ¿De dónde viene esta interpretación? Un conocimiento de base del viento, del rodamiento y del transporte se activa para explicar e integrar las dos propiedades señaladas. Este ejemplo ilustra lo rápidamente que se activa el conocimiento de base para interpretar y, cómo complementa las propiedades que se perciben. Más que percibir las propiedades de una entidad de forma aislada, casi siempre recurrimos al conocimiento de base que tiene que ver con su interpretación. (Para una revisión de datos, véase Murphy, 2000).

He aquí otro ejemplo (Barsalou, 1983): se les presentó a los sujetos el nombre de varios objetos —roca, silla, ladrillo, planta en maceta— y se les pidió que identificaran una categoría a la que pertenecieran todos ellos. (No es tan fácil. ¿Qué piensa el lector?). Pero aquí hay algún conocimiento de base. El día es cálido y ventoso. Queremos tener la puerta abierta, pero se cierra a portazos. Decidimos hacer algo al respecto, posiblemente mantener la puerta abierta con... algo apropiado. Con esa información, se ve instantáneamente la roca, la silla, el ladrillo y la maceta como pertenecientes todas ellas a la categoría de cosas que nos permiten tener una puerta abierta en un día ventoso. La categoría no se hace aparente hasta que se activa el conocimiento de base pertinente, otra demostración del papel central que juega el conocimiento de base en el procesamiento de categorías.

Una estructura para representar el conocimiento de base es el **esquema**, una representación estructurada que capta la información que por lo general se aplica a una situación o un suceso (para revisiones, véase Barsalou, 1992; Barsalou y Hale, 1993; Rumelhart y Norman, 1988). Los esquemas se describen como «estructurados» porque no son listas de propiedades independientes sino que establecen conjuntos coherentes de relaciones que ligan propiedades. Así, el esquema de una fiesta de cumpleaños (como la nuestra) podría incluir invitados, regalos y tarta. La estructura es que los invitados entregan regalos al agasajado y que todo el mundo come tarta. Los esquemas se asemejan a las reglas y a los prototipos en el hecho de que resumen los miembros de una categoría. Difieren de las reglas y prototipos en que contienen mucha información que no es esencial para clasificar entidades, pero que es importante para entender los sucesos que las rodean. El esquema de una fiesta de cumpleaños proporciona un conocimiento de base útil acerca de las tartas: ver una tarta activa el esquema de las fiestas de cumpleaños, de modo que se pueden obtener deducciones útiles acerca de por qué la tarta está allí y cómo se va a utilizar.

Se pueden encontrar muchas demostraciones de esquemas en todos los aspectos de la cognición. Cuando procesamos escenas visuales, esperamos ver configuraciones particulares de objetos (véase, por ejemplo, Biederman, 1981; Palmer, 1975). En una situación social dada, esperamos observar (e involucrarnos en) relaciones particulares con los presentes (véase, por ejemplo, Fiske y Taylor, 1991). En el campo de la memoria, los esquemas dan lugar a intensas expectativas acerca de lo que es probable que haya ocurrido en el pasado, expectativas que pueden distorsionar nuestros recuerdos (véase, por ejemplo, Gentner y Markman, 1997; Markman y Gentner, 2001; Markman y Medin, 1995; Ross, 1996).

## 4.4. Representación dinámica

Como se ha visto, muchas estructuras diferentes pueden subyacer al conocimiento de una categoría determinada: ejemplares, reglas, prototipos y esquemas. Cuando pensamos en una categoría en particular, ¿se activan por completo todas las estructuras que la representan?, ¿o el sistema cognitivo varía la información más activa sobre una categoría de una forma dinámica, subrayando la información más útil en las circunstancias actuales?

Muchos datos indican que no toda la información posible de una categoría se activa cuando se accede a la categoría, sino que más bien se activa preferentemente la información oportuna en el contexto actual. La **representación dinámica** se refiere a la capacidad del sistema cognitivo para construir, y apelar cuando es necesario, muchas

representaciones diferentes de una categoría, cada una de las cuales hace énfasis en el conocimiento de la categoría que más interesa en el momento actual.

Los estudios de *priming* intermodal constituyen una fuente de evidencias de las representaciones dinámicas. En el estudio, los sujetos escuchaban una frase por los auriculares. Inmediatamente después de que se dijera la última palabra, veían una tanda de letras. Su tarea consistía en indicar, tan rápido como les fuera posible, si la tanda de letras formaba una palabra (por ejemplo, *amarillo*) o una palabra sin significado (por ejemplo, *amarilo*) Esta tarea básica se puede utilizar para demostrar la representación dinámica (véase, por ejemplo, Greenspan, 1986; Tabossi, 1988). He aquí cómo funciona: supongamos que la última palabra de una frase presentada auditivamente es *pelota de playa* y que esta palabra aparece en una de dos frases:

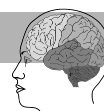
El nadador vio balancearse en el agua una *pelota de playa*.
El aire silbaba al escapar por un agujero de la *pelota de playa*.

Si *pelota de playa* se representa dinámicamente en estas dos frases, entonces la información activa para ella debería variar, reflejando la propiedad de las pelotas de playa que más interese en cada situación. Después de presentar la primera frase, la propiedad «flota» debería estar más activa que la propiedad «está deshinchada». Pero tras la segunda frase, «está deshinchada» debería estar más activa que «flota». Si la representación de «pelota de playa» *no* es dinámica, la activación de «flota» y de «está deshinchada» no debería cambiar en las frases. Si todo el conocimiento de la categoría está igualmente activo para una categoría en cada ocasión, entonces el cambio de frase no debería afectar a la representación conceptual de «pelota de playa».

Muchos experimentos, valiéndose de *priming* intermodal y de otras muchas técnicas, han obtenido consistentemente resultados que apoyan la representación dinámica (para revisiones, véase Barsalou, 1987, 1989; L. Smith y Samuelson, 1997; Yeh y Barsalou, 2004). La información que está más activa varía en cada ocasión. Además, la información más activa por lo general es de interés en el contexto presente.



### Control de comprensión



1. ¿Utilizamos los recuerdos de miembros individuales de una categoría para representar el conocimiento, o bien, para hacer esto, resumimos siempre las propiedades de los miembros de la categoría? Justifíquese la respuesta.
2. Descríbase qué ocurre en una ocasión dada cuando el cerebro representa una categoría. Indíquese también cómo este proceso puede variar según las ocasiones en las que se representa la misma categoría.

## 5 Dominios de categorías y organización

¿Para qué dominios del entorno establecemos el conocimiento de categorías? Parece ser que elaboramos categorías que representan los tipos de cosas que hay en el mundo —lo que los filósofos interesados en la ontología, el estudio del ser o de la esencia de las cosas, llaman **tipos ontológicos** (véase, p. ej., Sommers, 1963)—. Los ontólogos están generalmente de acuerdo en que los tipos ontológicos importantes incluyen seres naturales vivos («tipos» en el lenguaje de la ontología), tipos naturales no vivos,

artefactos, localizaciones, sucesos, estados mentales, tiempos y propiedades. La mayoría de los ontólogos opinan que las categorías ontológicas probablemente son *universales*; es decir: son categorías que cualquier ser humano conoce, independientemente de su cultura. Los psicólogos sostienen que se elaboran diferentes dominios de conocimiento de categorías para diferentes tipos ontológicos (véase, p. ej., Keil, 1979).

Dentro de cada dominio de conocimiento de categorías residen muchas categorías más específicas. Los «tipos naturales vivos» incluyen los «mamíferos» y los «árboles». Los «tipos naturales no vivos» incluyen el «agua» y el «oro». Los «artefactos» incluyen los «utensilios» y las «vestimentas». Las «localizaciones» incluyen los «océanos» y los «parques». Los «sucesos» incluyen a los «alimentos» y las «fiestas de cumpleaños». Los «estados mentales» incluyen las «emociones» y las «ideas». Los «tiempos» incluyen la «noche» y el «verano». Las «propiedades» incluyen «verde» y «caro». Muchas de estas categorías más específicas dentro de los dominios también parecen ser conocidas por todas las culturas (véase, por ejemplo, Malt, 1995). A medida que las categorías se van haciendo cada vez más específicas, es menos probable que sean conocidas por todas las culturas (por ejemplo, camiseta, trituradora de papel o comidas ricas en vitamina C).

## 5.1. Distinción entre dominios de conocimiento de categorías en el cerebro

Los diversos dominios de conocimiento de categorías[2] parecen ser en realidad diferentes, al menos desde un punto de vista intuitivo: los animales parecen diferentes en esencia de los artefactos, los objetos parecen diferentes de los pensamientos. ¿Se cumplen estas diferencias intuitivas en los sistemas cerebrales de representación?, ¿se almacena el conocimiento de diferentes categorías en diferentes regiones del cerebro?, ¿o todo el conocimiento de las categorías se almacena en una única área cerebral? Para responder a estas preguntas, los investigadores han evaluado el conocimiento de categorías en pacientes que han sufrido una lesión cerebral, en un intento de saber qué categorías particulares se han perdido y si esas pérdidas pueden relacionarse con regiones concretas del cerebro.

Habitualmente, cuando un paciente con daño cerebral pierde el conocimiento de categorías sólo pierde ciertos conocimientos mientras que conserva otros. Por ejemplo, Warrington y Shallice (1984) describieron el caso de cuatro pacientes con daño cerebral que presentaban dificultades para establecer categorías de animales (tales como «perros» y «petirrojos»). Pero, aunque a estos pacientes les costaba denominar y definir diversos animales, y no les costaba denominar y definir categorías de artefactos (como «martillos» y «sillas»). Menos frecuentemente, los pacientes muestran la alteración contraria (véase, por ejemplo, Warrington y McCarthy, 1983, 1987) y manifiestan menos conocimiento de artefactos que de animales. Esta doble disociación de animales y de artefactos sugiere que en áreas del cerebro de distinta localización se representan estos dos tipos de categorías. También se ha informado de diversas alteraciones de otras categorías, tales como problemas para establecer categorías numéricas y categorías abstractas (véase, por ejemplo, Thioux *et al.*, 1998; Tyler y Moss, 1997).

---

[2] Dominio de conocimientos: cuerpo de conocimientos que permite identificar e interpretar un conjunto de fenómenos que se supone comparten ciertas propiedades y forman una clase general. El dominio guía las tareas de percepción, menorización y razonamiento ligadas a esta clase de fenómenos. *(N. del T.)*

¿Cómo se pueden explicar estas alteraciones selectivas del conocimiento de categorías? Las representaciones de categorías de modalidad específica pueden aportar una pista. Tanto los datos comportamentales como los neurales sugieren que la representación de una categoría se distribuye en los diversos sistemas cerebrales de modalidad específica que procesan sus propiedades. Por ejemplo, en la cultura occidental, y en cierta medida, es más frecuente que se vean animales (lo que compromete a la modalidad visual) a que se trabaje con ellos (lo que compromete al sistema motor). En contraposición, el conocimiento de los artefactos, por lo general, se basa mucho más profundamente en información motora que en información visual (intentemos describir un destornillador sin mover las manos).

Dados estos diferentes perfiles de información multimodal, las lesiones del sistema visual pueden producir dificultades más acusadas en la categoría de seres vivos que en la de artefactos, mientras que lesiones en el sistema motor pueden producir dificultades más acusadas en la categoría de artefactos. Quizá, los perfiles multimodales de diferentes dominios de categorías actúan junto con las lesiones produciendo de este modo diferentes alteraciones del conocimiento de categorías cuando el área cerebral correspondiente está lesionada. Muchos teóricos han llegado a esta conclusión (véase, por ejemplo, Damasio y Damasio, 1994; Farah y McClellan, 1991; Gainotti *et al.*, 1995; Humphreys y Forde, 2001; Pulvermüller; 1999). En la medida en que esta explicación sea correcta, ofrece una prueba más para afirmar que el conocimiento de categorías está distribuido a lo largo de los sistemas de modalidad específica que lo procesan.

Pero aún no tenemos el veredicto. Algunos investigadores opinan que esta explicación es demasiado burda para dar cuenta de los sutiles modelos de alteraciones que suelen observarse en pacientes con daño cerebral (Cree y McRae, 2003). Lo más frecuente es que el paciente *no* pierda sólo una categoría, sino que pierda varias. Se pueden perder la capacidad de reconocer alimentos junto con la reconocer seres vivos, y lo mismo puede ocurrir respecto a los instrumentos musicales. Las referentes a frutas y a verduras habitualmente se pierden juntas, y se puede perder tanto respecto a seres vivos como a seres no vivos. En la Figura 4-16 se presentan siete modelos de alteraciones de categoría que Cree y McRae identificaron al revisar los datos existentes. De ningún modo la pérdida del procesamiento visual o motor puede explicar todos estos modelos diferentes.

| Modelo de alteraciones | Propiedades compartidas |
|---|---|
| 1. Categorías múltiples que constituyen criaturas vivas. | Movimiento visual, partes visuales, color. |
| 2. Categorías múltiples que constituyen materias no vivas. | Función, partes visuales. |
| 3. Frutas y vegetales. | Color, función, gusto, olfato. |
| 4. Frutas y vegetales con criaturas vivas. | Color. |
| 5. Frutas y vegetales con materias no vivas. | Función. |
| 6. Alimentos inanimados con materias vivas (especialmente frutas y vegetales). | Función, gusto, olfato. |
| 7. Instrumentos musicales con materias vivas. | Sonido, color. |

**FIGURA 4-16** Siete modelos de alteraciones de categorías que pueden producir las lesiones cerebrales

Éstos son conjuntos de categorías en los que los pacientes con daño cerebral manifiestan conjuntamente un conocimiento mucho peor de lo normal. Se ha comprobado que cuando una lesión cerebral afecta a las representaciones de propiedades particulares, las categorías que se basan en gran parte en ellas resultan perjudicadas.

Cree y McRae (2003) sostienen que las alteraciones se deben a pérdidas específicas de una serie de propiedades mucho más amplia, cuyo procesamiento está distribuido en el cerebro. Para evaluar esta hipótesis, pidieron a personas que expresaran las propiedades de los tipos de categoría que los pacientes pierden tras una lesión cerebral, tales como las propiedades de las aves, la fruta y los utensilios. Una vez que hubieron establecido las propiedades de cada categoría, evaluaron qué *tipos* de propiedades compartían las diversas categorías en cada modelo de alteraciones, junto con los tipos en los que diferían. Un punto de máximo interés era averiguar si las múltiples categorías de un modelo particular de alteraciones tenían una o más propiedades en común —digamos, ¿el movimiento visual o el color?—. Si así fuera, las lesiones de las áreas que procesan un tipo dado de propiedad podían causar que se perdieran al tiempo categorías que comparten dicha propiedad. Por ejemplo, si las áreas de color están lesionadas, entonces las categorías en las que el color es importante, tales como los animales y los alimentos, pueden resultar afectadas simultáneamente.

Los resultados fueron esclarecedores (véase la Figura 4-16). Cree y McRae (2003) encontraron que las categorías del primer modelo de alteraciones, seres vivos, comparten habitualmente muchas propiedades: por lo general se mueven, tienen partes destacadas e interesantes y tienen colores relativamente característicos. Las categorías del quinto modelo (frutas, verduras y materias no vivas) comparten propiedades de función, en cuanto que todas ellas juegan un papel en nuestra vida —las frutas y las verduras en nuestra dieta, los artefactos no vivos en nuestro manejo del entorno que nos rodea—. Por lo tanto, una formulación más compleja de la teoría original podría explicar los modelos de alteraciones de categoría específica que se han descrito.

A pesar de lo sugerente de estas conclusiones, la cuestión de cómo el cerebro representa las categorías está lejos de haberse resuelto. Cree y McRae (2003) demostraron la importancia de factores que acompañan a las propiedades compartidas, como la singularidad de la propiedad. También se han propuesto explicaciones alternativas de anomalías de categoría específicas en términos de símbolos amodales (véase, por ejemplo, Capitani *et al.*, 2003; Caramazza y Shelton, 1998; Tyler y Moss, 2001) y es probable que una serie de mecanismos, no sólo uno, produzcan anomalías de categoría específica (véase, por ejemplo, Coltheart *et al.*, 1998, Simmons y Barsalou, 2003). Por otra parte, los estudios de pacientes con daño cerebral adolecen de una serie de problemas metodológicos, entre los que se incluyen problemas para valorar las anomalías comportamentales, junto con problemas para valorar las lesiones y entender totalmente su implicación en el funcionamiento cerebral (véase el Capítulo 1). No obstante, una conclusión que se desprende de esta investigación es que diferentes tipos de categorías se representan básicamente en diferentes áreas del cerebro. Coincidiendo con el enfoque de simulación multimodal, parece ser que una representación de categoría está distribuida, al menos en parte, en las áreas cerebrales de modalidad específica que procesan sus miembros.

También apoyan esta conclusión los estudios de neuroimagen que han registrado la actividad cerebral mientras los sujetos procesan categorías de diferentes dominios, en particular los dominios de animales y de utensilios. Se observan diferentes patrones de actividad cerebral para estos dominios. Consecuente con los hallazgos de las investigaciones realizadas en pacientes con daño cerebral, los utensilios, por ejemplo, suelen activar las áreas premotoras más que los animales (véase la Figura 4-12).

En el dominio de los «animales», los estudios de pacientes con lesión cerebral y los estudios de neuroimagen muestran una diferencia interesante (Martin, 2001). Por

un lado, los estudios muestran que la lesión de los lóbulos temporales frecuentemente produce un déficit de categoría referente a los animales. Por otro lado, los estudios de neuroimagen a menudo muestran una extensa activación en el lóbulo occipital en el caso de los animales. ¿A qué se deben estos modelos diferentes? Martin sugiere que los lóbulos temporales son *áreas de asociación* que operan para integrar el conocimiento de categorías. Cuando se dañan estas áreas, los modelos estadísticos allí almacenados no pueden desencadenar las simulaciones localizadas en los lóbulos occipitales que representan las propiedades de las categorías de animales. Si estas áreas de asociación están intactas, como es el caso de la mayoría de los sujetos de los estudios de neuroimagen, los modelos estadísticos allí almacenados pueden desencadenar las simulaciones localizadas en el lóbulo occipital, las cuales se detectan mediante técnicas de neuroimagen. Así pues, el modelo diferencial de resultados brinda apoyo a la idea de que las representaciones se distribuyen en el cerebro, tal como se ha expuesto anteriormente.

En estudios de neuroimagen se ha encontrado asimismo que cuando se aplica el conocimiento de la forma de un objeto (por ejemplo, la forma de un gato) se activa la circunvolución fusiforme, mientras que al aplicar el conocimiento del movimiento de un objeto (por ejemplo, cómo se mueve un gato) se activa la circunvolución temporal posterior (Chao *et al.*, 1999; Martin y Chao, 2001; Martin *et al.*, 1996). Además, en estos estudios se ha hallado que cuando se accede a diferentes tipos de categorías se activan áreas fusiformes para la forma algo diferentes y áreas temporales para el movimiento algo diferentes. Aunque las regiones donde se procesa la forma están cerca unas de otras, son diferentes. Mientras que las formas de animales, de personas y de caras tienden a activar las áreas fusiformes laterales, las formas de las herramientas tienden a activar áreas más mediales. Lo mismo sucede con las regiones que procesan el movimiento. Mientras que los animales, las personas y las caras tienden a activar las áreas temporales superiores, las herramientas tienden a activar regiones más inferiores de estas áreas. Estas ligeras diferencias de localización son una indicación más de que diferentes dominios del conocimiento de categorías se basan en diferentes sistemas cerebrales. Los estudios sugieren cada vez más que diferentes dominios del conocimiento de categorías están distribuidos en lugares diferentes de áreas cerebrales de modalidad específica. Las diferencias intuitivas que experimentamos en diferentes dominios, en realidad reflejan importantes diferencias en la ejecución neural subyacente.

## 5.2. Taxonomías y búsqueda de un «nivel básico»

Dentro de un dominio de conocimiento de categorías, las categorías no se representan aisladamente sino más bien en diversas estructuras que ligan categorías relacionadas. Una forma de organización importante es la **taxonomía**, un conjunto de categorías anidadas que varían en su grado de abstracción; siendo cada categoría anidada un subconjunto de la categoría de orden superior a la que pertenece (Figura 4-17). Así pues, la categoría de los objetos incluye seres vivos y utensilios. Los «utensilios» incluyen «herramientas», «vehículos», «vestimentas»,... las «herramientas» incluyen «destornilladores», «martillos», «sierras»... Los «destornilladores» incluyen a los de «punta plana», «punta Phillips», «punta en cruz»... Taxonomías como la de estos ejemplos parecen ser consecuencia de una forma de educación y, en realidad, en cierto modo lo son. Pero, de hecho, las taxonomías se encuentran por igual en todas las culturas y no dependen de un aprendizaje formal. Tras revisar los trabajos antropoló-

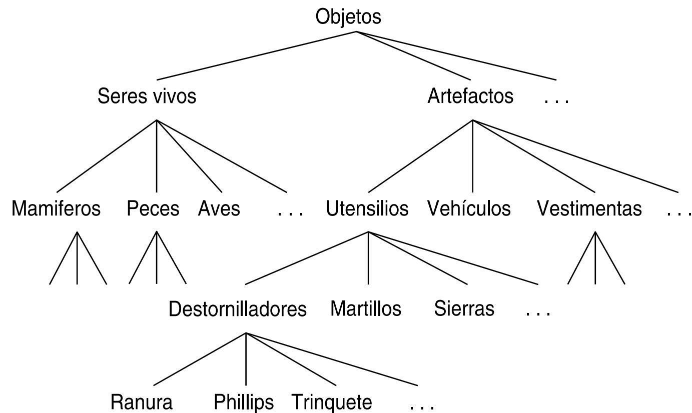



**FIGURA 4-17** Taxonomía de objetos

Categorías cada vez más específicas anidan en categorías más generales.

gicos sobre las categorías biológicas, Malt (1995) concluyó que todas las culturas estudiadas hasta ahora, incluyendo las tradicionales, no industriales, tienen taxonomías para plantas y animales.

Una cuestión central en esta área ha sido la búsqueda de un *nivel básico* en las taxonomías, un nivel que sea más central que otros en la cognición humana. En la Figura 4-17, por ejemplo, ¿qué niveles —los más bajos, los intermedios o los más altos— es más probable que sean los más importantes para la cognición?.

En un trabajo antropológico clásico acerca de las categorías biológicas, Berlin, Breedlove y Raven (1973) argumentaron que los niveles intermedios son los más importantes. Para empezar, existen más palabras para categorías de los niveles medios que de los que se encuentran por encima y por debajo —existen más palabras tales como «perro», «caballo» y «león» que palabras como «mamífero» (nivel por encima) o como «*collie*», «caniche» o «*terrier*» (nivel por debajo)—. Aunque lógicamente es necesario que puedan existir más categorías a medida que se *desciende* en una taxonomía, el hallazgo importante en este caso fue que existen más nombres de una sola palabra para las categorías de los niveles intermedios que para los niveles inferiores. Otro hallazgo importante fue que los nombres para categorías de niveles intermedios eran más cortos que los nombres utilizados para las categorías situadas por arriba y por abajo (por ejemplo, perro en comparación con mamífero, en la categoría superior, y en comparación con caniche, en la categoría inferior). La *ley de Zipf,* en lingüística, afirma que según aumenta la frecuencia con la que se utiliza una palabra en un lenguaje, la palabra se acorta, ya que el lenguaje evoluciona durante generaciones de usuarios. Los nombres de categorías en los niveles taxonómicos intermedios son más cortos, lo que sugiere que estos son los nombres que se utilizan con mayor frecuencia y son, por tanto, los más importantes.

Las conclusiones transculturales de Malt (1995) demuestran además la importancia de las categorías de nivel intermedio en las taxonomías. En todas las culturas, tanto tradicionales como avanzadas, existe un amplio acuerdo en las categorías de nivel intermedio: los nombres para categorías de nivel intermedio, como «perro», «águila» y «caimán», suelen encontrarse dondequiera que dichos animales sean parte del entorno. Por otra parte, estos nombres se refieren a los mismos grupos, en esencia, de entidades en el entorno —«ciervo», por ejemplo, se refiere a la casi misma criatura en

cualquier cultura—. Por último, las culturas habitualmente tienen nombres para estas categorías incluso cuando éstas no jueguen un papel importante en la vida de las personas. En todas las culturas, muchas plantas y animales que no tienen una función, siguen teniendo un nombre en el nivel intermedio. Las categorías de nivel medio en las taxonomías biológicas son lo suficientemente destacadas perceptivamente como para que los miembros de casi todas las culturas las perciban y creen un nombre para ellas (por ejemplo, en nuestra cultura, muchos animales salvajes).

Una gran cantidad de investigaciones psicológicas indican además que los niveles intermedios de una taxonomía son los más importantes. Los investigadores han encontrado que las categorías de los niveles medios de una taxonomía se procesan más rápidamente que los de categorías de otros niveles (Rosch *et al.*, 1976). Cuando los sujetos tienen que emparejar el dibujo de un objeto con el nombre de una categoría (por ejemplo, «caniche», «perro», «animal»), los emparejamientos más rápidos son los que atañen a los nombres de nivel medio (en este caso, «perro»). También hallaron estos investigadores que los niños aprenden los nombres de las categorías de nivel intermedio antes que los nombres de las categorías de otros niveles. Otras muchas investigaciones han obtenido resultados similares (para una revisión, véase Murphy y Lassaline, 1997). Basándose en resultados como éstos, Rosch y colegas denominaron a las categorías de nivel intermedio **nivel básico**, el nivel de una taxonomía que se utiliza más frecuentemente, se aprende con mayor facilidad y se procesa más eficazmente.

Los nombres de las categorías de los niveles superiores e inferiores coinciden mucho menos en las diferentes culturas (véase, por ejemplo, Malt, 1995). Por ejemplo, las culturas en las que se comen larvas de mariposa disponen de muchas categorías para diferentes tipos de larvas, lo que no ocurre en las culturas en las que no existe esta costumbre. Cuando existen en dos culturas categorías similares de niveles superiores e inferiores, no suelen referirse al mismo conjunto de objetos del entorno. Una cultura puede tener una categoría para «árboles» y otra lo puede tener para «leña», incluyendo sólo a los árboles que sirven para hacer fuego. Por otra parte, es más probable que las categorías de alto y de bajo nivel se desvíen de las taxonomías científicas que lo hagan las categorías del nivel intermedio.

¿Qué ocurre con las categorías de nivel intermedio? ¿Por qué presentan estas ventajas?, ¿por qué son las más frecuentes?, ¿por qué sus nombres son los más cortos?, ¿por qué hay un mayor acuerdo transcultural respecto a estas categorías y son las más parecidas a las de las taxonomías científicas?, ¿por qué son las que se aprenden y se procesan más fácilmente?

Aunque esta cuestión dista mucho de haberse resuelto, ha surgido una explicación predominante (véase, por ejemplo, Malt, 1995: Tversky y Hemenway, 1985). Las categorías de nivel intermedio son importantes porque sus miembros (al contrario que los miembros de las categorías de los niveles superiores e inferiores) habitualmente comparten una configuración común de partes físicas y esta configuración difiere de las de otras categorías del mismo nivel. Por ejemplo, un ciervo tiene cuatro patas, dos orejas, pezuñas puntiagudas y otras propiedades físicas en una disposición particular; la mayoría de las mariposas tienen una disposición específica de la cabeza, el cuerpo, las antenas y tienen grandes alas planas. Durante cientos de años, los biólogos han usado estas descripciones morfológicas para definir las categorías naturales. Las teorías evolucionistas y las teorías genéticas han hecho posible relacionar directamente las historias genéticas de las especies con estas estructuras morfológicas.

En niveles superiores no hay estructuras morfológicas comunes dentro de una categoría —hay una gran cantidad de mamíferos que no se parecen en nada los ciervos—. En niveles inferiores, como pueden ser diversos tipos de mariposas, la morfología es compartida por diferentes categorías, lo que hace que los diferentes tipos se puedan confundir. Para discriminar la diferencia entre categorías se necesita conocer sutiles características visuales que resaltan mucho menos que las características morfológicas que distinguen la categoría de ciervos de la de mariposas en el nivel intermedio.

¿Por qué destaca tanto la morfología en el nivel intermedio de las taxonomías? Una explicación posible es que nuestros sistemas de detección visual de características han llegado a lo largo de la evolución a ajustarse con las características que distinguen las diferentes morfologías entre sí. Pueden encontrarse datos de laboratorio que apoyan esta conclusión en Tversky y Hemenway (1985), Jolicoeur *et al.*, (1984) y en Murphy y Brownell (1985). Biederman (1987) presentó una teoría del reconocimiento de objetos relacionada.

Muchos investigadores se siguen resistiendo a aceptar el concepto de «nivel básico». Una razón es que las categorías de nivel medio no son siempre las dominantes. En la cultura occidental, por ejemplo, el nivel dominante para las categorías de plantas y aves no es un nivel taxonómico medio. Muchos occidentales saben poco de los diferentes tipos de plantas y aves, y no pueden denominar categorías intermedias para ellos. Además, por lo general consideran que las categorías de nivel superior de plantas y aves contienen suficiente información para cumplir sus propósitos (véase, por ejemplo, Rosch *et al.*, 1976). A medida que la cultura occidental ha ido perdiendo paulatinamente contacto con el entorno natural, el nivel taxonómico dominante para los tipos vivos naturales se ha desplazado hacia arriba. Wolff y colaboradores (1999) contaron los términos taxonómicos para árboles que figuraban en el *Oxford English Dictionary* desde el siglo XVI hasta el siglo XX, descubriendo que la cantidad de palabras para las categorías de árboles aumentó en general durante ese período, así como aumentó el conocimiento del entorno natural. En el siglo XX, sin embargo, los nombres de las categorías de árboles disminuyeron bruscamente —especialmente en los niveles intermedios—, lo que indica un cambio taxonómico ascendente en el conocimiento del entorno natural.

De modo que una de las dificultades de las categorías de nivel intermedio, en tanto que nivel básico, es simplemente que muchas personas usan en su lugar categorías de nivel superior (véase también Mandler y McDonough, 1998, 2000). En el otro extremo de la escala, un problema relacionado es que cuando las personas llegan a ser expertas en un dominio pueden procesar los niveles inferiores de las categorías taxonómicas tan eficazmente como los niveles intermedios (véase, por ejemplo, Gauthier *et al.*, 1999, Johnson y Mervis, 1997; Tanaka y Curran, 2001; Tanaka y Gauthier, 1997).

Por otra parte, el nivel taxonómico que resulta más útil puede variar según cuál sea el objetivo actual (véase, por ejemplo, Cruse, 1977). ¿Queremos llevar con nosotros a nuestro perro en un «viaje de una vez en la vida» a Londres? En dicha situación, nuestro agente de viajes *no* utiliza el nivel básico y sencillamente nos dice que a todos los «perros» que entran en el Reino Unido se les somete a una cuarentena de seis meses. Ya que, de hecho, la ley se aplica a todos los *mamíferos* no humanos, nuestro agente de viaje nos dice que todos los «mamíferos» no humanos que entran en el Reino Unido están sujetos a cuarentena. Aunque el nivel básico es normalmente más destacado que el siguiente nivel superior, nuestro agente de viaje se cambia a un nivel superior para que entendamos el alcance total de la ley. En esas circunstancias, un nivel «no básico» es más importante.

Así pues, pese a que hay una tendencia a que las categorías de nivel medio dominen sobre las categorías de otros niveles de muchas maneras importantes, hay tantas excepciones que muchos investigadores sostienen que referirse a las categorías de nivel intermedio como las «básicas» les confiere una realidad objetiva no respaldada por los datos. La importancia relativa de un nivel taxonómico refleja que intervienen una amplia serie de factores y que fluctúa con la necesidad y las circunstancias.



## *Control de comprensión*



1. ¿Cómo organizamos amplios sistemas de categorías?
2. ¿Cómo diferentes perfiles de información de modalidad específica representan diferentes tipos de categorías?

# *Repaso y reflexión*

1. *¿Qué papeles juega el conocimiento en la cognición y cómo se representa éste en el cerebro?*

   Se ha dicho que no se puede entrar dos veces en el mismo río, o en cierto sentido, ni tan siquiera una vez —está cambiando constantemente—. Si tuviéramos que volver a leer ahora la descripción al comienzo de este capítulo de la aparentemente extraña fiesta de cumpleaños —extraña porque carecíamos de todo conocimiento—, nos podrían venir a la imaginación todo tipo de cosas que no se nos ocurrieron en la primera ocasión. Nuestra forma de entenderlo ha cambiado debido al conocimiento adquirido al leer este capítulo.

   El conocimiento impregna cada aspecto de la actividad cognitiva. Complementa la percepción y dirige la atención; hace posible la categorización y da lugar a ricas deducciones que van más allá de la información que se presenta. El conocimiento interpreta los recuerdos, confiere significados a las palabras y produce las representaciones que subyacen a los pensamientos. Sin el conocimiento seríamos como cámaras que representan imágenes, que no pueden interpretar o hacer uso de ellas.

   **Piense críticamente**

   - Si una cámara tuviera conocimiento, ¿cómo cambiaría su funcionalidad?
   - ¿Juega el conocimiento los mismos papeles en las especies de animales no humanas que en las humanas?, ¿cuáles pueden ser algunas de las semejanzas y las diferencias?
   - Si una persona pierde todos sus conocimientos, ¿qué tipos de sistemas de apoyo social tendrían que efectuarse para ayudarla a hacer frente a la vida?

2. *¿Cuáles son los formatos de representación que es más probable que existan en el cerebro y cómo operan juntos múltiples formatos de representación para representar y simular un objeto?*

   El conocimiento se puede representar en varios formatos, incluyendo imágenes descriptivas, análisis de características, símbolos amodales y modelos estadísticos.

Muy probablemente, el cerebro utiliza múltiples formatos, con imágenes, características, símbolos amodales y modelos estadísticos, todos los cuales intervienen en muchas tareas.

Al percibir un objeto se activan representaciones en múltiples formatos, comenzando por imágenes en áreas del cerebro organizadas topográficamente. Luego, sistemas de detección de características extraen información de las características significativas que identifican aspectos funcionalmente importantes del objeto. Por último, modelos estadísticos en zonas de convergencia integran la información extraída de las imágenes y las características del objeto. Al parecer, este proceso puede funcionar a la inversa para simular miembros de una categoría sin que éstos se hallen presentes. Se puede reconstruir una simulación parcial de la imagen y las características de una entidad que se ha percibido en una ocasión activando su modelo estadístico.

**Piense críticamente**

- ¿En qué difiere la representación del conocimiento de los ordenadores (documentos, fotos, archivos de música, etc.) de la representación del conocimiento de los seres humanos?, ¿en qué son similares?
- ¿Cómo podrían elaborarse múltiples formatos de representación y combinarse en cámaras y ordenadores para hacerlos más sofisticados?
- ¿De qué modos interviene la atención en producir el conocimiento?, ¿podemos imaginar algún otro papel que no se haya discutido en el Capítulo 3 o en este capitulo?

3. *¿Cómo llegan a integrarse las representaciones distribuidas en el cerebro para establecer el conocimiento de categorías?*

Debido a que diferentes miembros de una categoría activan modelos estadísticos similares, probablemente se asocien para compartir neuronas asociativas. En consecuencia, se elaboran en el cerebro cuerpos de conocimiento de categorías que pueden utilizarse para obtener deducciones útiles. Los aspectos que se perciben de un miembro de una categoría activan el conocimiento de la categoría, el cual produce entonces deducciones acerca de los aspectos «aún no percibidos». Una vez elaborado el conocimiento de la categoría, aporta un caudal de conocimiento deductivo que nos ayuda a ir más allá de la información suministrada.

El conocimiento de categorías también deriva de integrar la información referente a los miembros de una categoría percibida mediante diversas modalidades sensoriales. La información de todas las modalidades que tienen que ver con una categoría se integra en zonas de convergencia de orden superior. Puesto que diferentes categorías se perciben en diferentes modalidades, el perfil de modalidades adecuadas varía de una categoría a otra.

**Piense críticamente**

- En muchas categorías, no todos los miembros de la categoría comparten una característica. ¿Cómo puede la explicación que se ha dado aquí de la integración de los ejemplares solucionar la integración de los ejemplares en tales categorías?
- ¿Por qué, cuando se percibe un miembro de una categoría, no se conciben todas las deducciones posibles?, ¿sería útil concebirlas?, ¿por qué sí o por qué no?
- Si las categorías se representan en las modalidades que se utilizan para procesar sus miembros, entonces ¿cómo se representan las categorías abstractas, tales

como el «amor»? (*Sugerencia*: piense en situaciones en las cuales se siente amor y luego piense en aspectos de esas situaciones —tanto en la vida real como en la mente— a los que se refiere el amor).

4. *¿Qué tipos diferentes de estructuras de representación subyacen al conocimiento de categorías y cómo se accede a ellas en cada ocasión particular?*

Múltiples tipos de estructuras subyacen al conocimiento de categorías. En líneas generales, el cerebro almacena recuerdos específicos de ejemplares de categoría. El cerebro también resume estos recuerdos de ejemplar en reglas y prototipos. Por añadidura, el cerebro asienta el conocimiento de categorías en el conocimiento de base y en los esquemas.

En una ocasión determinada, sólo se activa un pequeño número de las estructuras asociadas con una categoría. Dependiendo de la situación en curso y de los objetivos del sujeto, se activan diferentes subconjuntos del conocimiento de base para representar la categoría. Como resultado, la representación de una categoría puede variar mucho, adaptando la representación de una ocasión concreta al contexto personal actual.

**Piense críticamente**

- ¿Qué constituye un recuerdo de ejemplar? Imaginémonos viendo a un miembro particular de una categoría, como por ejemplo una silla del salón. ¿Un ejemplar es una representación integrada de todas las ocasiones en las que hemos percibido esa silla, o cada ocasión produce un ejemplar diferente?
- ¿Qué tipos de información se hallan en el conocimiento de base y los esquemas?, ¿podríamos pensar en algún tipo particular de información que probablemente esté incluida?, ¿y que probablemente no lo esté?, ¿y cómo es probable que estén organizadas estas estructuras?

5. *¿Cómo se representan y organizan los diferentes dominios de categorías?*

Existen diferentes dominios del conocimiento de categorías para los diversos componentes de la experiencia humana. Los estudios de pacientes con daño cerebral, así como los de neuroimagen, sugieren que cada dominio se asienta sólo en un lugar en áreas cerebrales de modalidad específica. Al parecer, las modalidades que se utilizan para procesar los miembros de una categoría son las mismas que se utilizan para representar el conocimiento de esa categoría.

Dentro de los dominios, las categorías se organizan por taxonomías que contienen categorías de múltiples niveles. Habitualmente, las categorías de nivel intermedio son las más importantes para el conocimiento conceptual cotidiano, y a menudo las comparten diversas culturas. No obstante, a menudo llegan a ser importantes categorías de otros niveles taxonómicos por razones culturales y funcionales.

**Piense críticamente**

- ¿Además de las taxonómicas, qué otros tipos de organizaciones del conocimiento de categorías existen?
- ¿Cómo se pueden adquirir organizaciones del conocimiento de categorías?
- ¿Cómo puede afectar una estructura de organización a las representaciones de categorías que incluye?, ¿cómo puede afectar la representación de una categoría individual a la representación de una estructura de organización?

# Codificación y recuperación de la memoria a largo plazo




## Objetivos de aprendizaje

**1.** Naturaleza de la memoria a largo plazo
**1.1.** Formas de memoria a largo plazo
**1.2.** El poder de la memoria: la historia de H. M.
**1.3.** Múltiples sistemas de aprendizaje y recuerdo a largo plazo
**2.** Codificación: cómo se establece la memoria episódica
**2.1.** La importancia de la atención
**UNA VISIÓN MÁS DETENIDA:** Procesamiento apropiado de transferencia
**2.2.** Niveles de procesamiento y codificación con elaboración
**2.3.** Mejora de la codificación: generación y espaciamiento
**2.4.** Codificación episódica, ligamiento y lóbulo temporal medial
**2.5.** Consolidación: fijación de la memoria
**3.** Recuperación: cómo se recuerda el pasado a partir de la memoria episódica
**3.1.** Conclusión de modelos y recapitulación
**3.2.** Recuperación episódica y lóbulos frontales
**3.3.** Claves para la recuperación
**3.4.** Segunda vuelta: reconocer los estímulos mediante recuerdo y familiaridad
**DEBATE:** «Acordarse», «conocer» y los lóbulos temporales mediales
**3.5.** Recuerdos falsos del pasado
**4.** La codificación fue buena, pero aun así no puedo recordar
**4.1.** La función del olvido según Ebbinghaus
**4.2.** Olvido y competición
**5.** Sistemas de memoria no declarativa
**5.1.** *Priming*
**5.2.** Más allá del *priming*: otras formas de memoria no declarativa.
*Repaso y reflexión*

Caminamos por un vestíbulo. Dirigiéndose hacia nosotros y a una distancia de unos 15 metros, dos personas caminan juntas. Reconocemos a una inmediatamente: sabemos su nombre ya que coincidimos con ella en una reunión política en el último trimestre. En esa ocasión descubrimos que los dos habíamos crecido en la misma ciudad y que compartíamos el gusto por la comida italiana. Su acompañante nos parece familiar, tenemos una vaga sensación de haberle encontrado antes, pero no le podemos situar —no podemos ponerle nombre, saber dónde podemos haber coincidido ni detalle alguno sobre él—. Ahora, al encontrarnos, él nos saluda por nuestro nombre. El embarazo por no saber su nombre aumenta cuando la conversación pone de manifiesto que nos recuerda de un encuentro de hace tan solo dos semanas, justo antes de que los dos tuviéramos un examen de física. ¿Cómo es posible que podamos recordar claramente una conversación que tuvimos hace meses y no recordemos otra que al parecer tuvo lugar hace relativamente poco?

Este capítulo analiza la naturaleza de la memoria a largo plazo, describiendo en primer lugar dos clases de sistemas de memoria a largo plazo: la declarativa y la no declarativa. Luego nos centramos en los mecanismos que codifican, consolidan y recuperan la memoria declarativa, examinamos porqué y en qué modo nuestros recuerdos en algunas ocasiones son erróneos y analizamos porqué a veces olvidamos. Concluimos estudiando las formas de memoria no declarativa que permiten al pasado modelar no conscientemente nuestros pensamientos y acciones actuales. Nos ocuparemos específicamente de cinco cuestiones:

1. ¿Cuáles son las características de los sistemas de memoria declarativa y no declarativa?
2. ¿Cómo codificamos nuevas memorias declarativas, qué procesos afectan a la eficacia de la codificación y qué mecanismos cerebrales elaboran estas memorias?
3. ¿Cómo se recuperan las memorias episódicas y por qué en algunas lo que recuperamos no es un fiel reflejo de nuestro pasado?
4. ¿Por qué a veces olvidamos?
5. ¿Cuáles son las formas de memoria no declarativa y cómo influyen en nuestra conducta?

# 1 Naturaleza de la memoria a largo plazo

La capacidad para recordar a las personas, los lugares y las cosas que se encuentran en el transcurso de la vida diaria es una forma fundamental de cognición que guía la conducta. La frustración que se experimenta en situaciones como la del encuentro en el vestíbulo que hemos descrito más arriba, sirve como un breve recordatorio de nuestra dependencia de la **memoria**, el depósito interno de información almacenada. Como se verá en este capítulo, la memoria se basa en un conjunto de procesos mediante los cuales la información se codifica, se consolida y se recupera. Aunque las consecuencias de los fallos de memoria se limitan en ocasiones a situaciones socialmente embarazosas, éste no es siempre el caso: la memoria es esencial para el funcionamiento, e incluso para la supervivencia, de los seres humanos y otros animales. Sin memoria nunca podríamos aprender de la experiencia y actuaríamos sin rumbo, carentes de planes o metas. Las habilidades motoras y la capacidad de lenguaje se perderían. Incluso el sentimiento de identidad personal que todos poseemos desaparecería.

El tipo de memoria que participa en estas situaciones es la **memoria a largo plazo**, información que se adquiere en el transcurso de una experiencia y que persiste, de modo que se puede recuperar mucho después de que la experiencia haya pasado. Como se expondrá, algunas formas de memoria a largo plazo pueden recuperarse conscientemente, y así podemos utilizar nuestras reminiscencias de algo pasado para guiar el pensamiento y las acciones del presente. William James (1890) describió este tipo de memoria como «el conocimiento de un estado anterior de la mente una vez que éste se ha marginado de la consciencia». Por contraposición, otras formas de memoria a largo plazo influyen en nuestro pensamiento y conducta en el presente mientras actúan fuera de la consciencia. En dichos casos, las experiencias del pasado afectan de modo no consciente al presente. Se ha avanzado en el conocimiento de la memoria a largo plazo gracias a investigaciones comportamentales realizadas en personas con la memoria intacta, así como en pacientes con alteraciones de memoria. Los estudios de lesión y de registro realizados en animales, y los estudios de neuroimagen en seres humanos, también han ayudado a comprender el funcionamiento de la memoria.

## 1.1. Formas de memoria a largo plazo

Los teóricos creen que hay múltiples formas de memoria a largo plazo que difieren en sus propiedades básicas de procesamiento de la información, y en las estructuras del cerebro que dan soporte a ese procesamiento (Figura 5-1). Se piensa que estas diversas formas de memoria pueden clasificarse en dos categorías generales, las cuales se describen como declarativa y no declarativa. La **memoria declarativa** (también conocida como **memoria explícita**) se refiere a las formas de memoria a largo plazo que habitualmente pueden recordarse conscientemente y «declararse» o describirse a otras personas, como la memoria de hechos, ideas y acontecimientos. La memoria declarativa incluye la **memoria episódica**, memoria de acontecimientos en el pasado personal, y la **memoria semántica**, conocimiento general relativo a objetos del entorno y su significado; distinción propuesta por Endel Tulving en 1972. Tulving definió la memoria episódica como el conocimiento consciente de acontecimientos o episodios datados temporalmente, localizados espacialmente y experimentados personalmente.

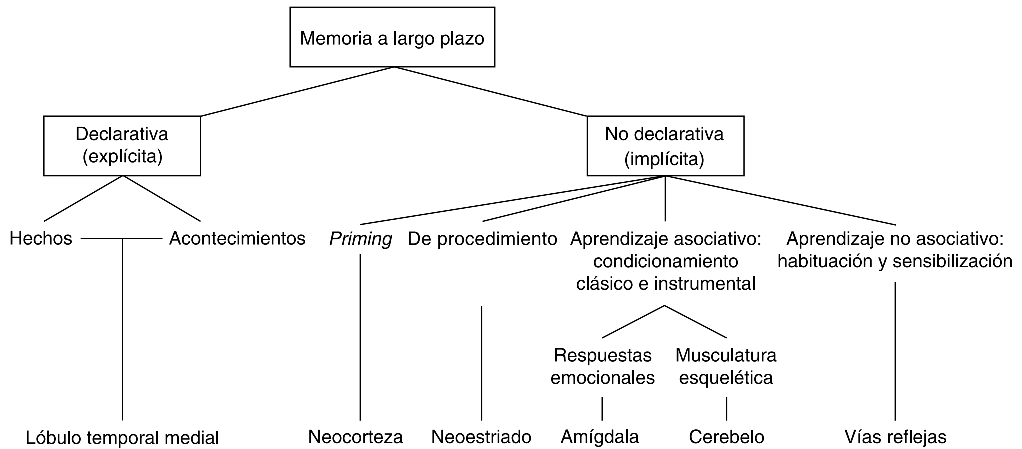



**FIGURA 5-1** Organización de la memoria a largo plazo

Las formas de la memoria a largo plazo se pueden clasificar en declarativa (o explícita) y no declarativa (o implícita). La memoria declarativa y la no declarativa dependen de regiones cerebrales diferentes.
(Kandel, E. R., Kupferman, I. and Iverson, S. (2000). Learning and Memory. In: E. R. Kandel, J. H. Schwartz and T. M. Jessell (eds.) *Principles of Neural Science*, pp. 1227-1246. New York: MacGraw-Hill, Fig 62-64. Reproducido con autorización.)

La memoria semántica la definió como el conocimiento sobre palabras y conceptos, sus propiedades e interrelaciones (Tulving, 1972). Somos conscientes del contenido de los dos tipos de memoria, pero una diferencia entre ellos es el contexto, o la falta de él. La memoria episódica, que sustenta los recuerdos de sucesos de la vida de cada uno, tiene un contexto: cuando recordamos detalles sobre una de las personas que conocimos en el vestíbulo —sus ideas políticas, sus gustos culinarios— emprendimos una especie de «viaje en el tiempo mental» a nuestro encuentro anterior y éramos conscientes de que la información que teníamos sobre ella estaba ligada a esta experiencia autobiográfica particular. Pero cuando recuperamos nuestra memoria semántica de, digamos, los principales ingredientes de la cocina italiana, esa memoria no está ligada al contexto específico en el que adquirimos dicho conocimiento, ya que probablemente lo acumulamos en múltiples experiencias en diversos contextos. Las pruebas que evalúan la memoria declarativa se denominan **pruebas de memoria explícita** porque requieren la recuperación de una descripción explícita o un informe del conocimiento basado en la memoria. La memoria declarativa es extremadamente flexible e implica asociar múltiples elementos de información formando una representación de memoria unificada. Así pues, podemos tener diferentes caminos para recuperar una memoria determinada. Las dos formas de memoria declarativa, episódica y semántica, dependen del funcionamiento de los lóbulos temporales mediales.

La **memoria no declarativa** (también llamada **memoria implícita**) alude a formas no conscientes de memoria a largo plazo que se manifiestan como un cambio de conducta sin que haya un recuerdo consciente. Las pruebas de memoria no declarativa —denominadas **pruebas de memoria implícita**— no requieren una descripción del contenido de la memoria, sino que más bien lo revelan *implícitamente* mediante los cambios que se observan en el rendimiento, como por ejemplo la adquisición gradual de una habilidad motora. En comparación con la memoria declarativa, la memoria no declarativa suele ser más restrictiva en cuanto al modo en que se puede recuperar este conocimiento. Las diversas formas de memoria no declarativa no dependen de es-

tructuras del lóbulo temporal medial que son importantes para la memoria declarativa. Más bien, las diversas formas de memoria no declarativa se elaboran en diferentes regiones del cerebro (véase la Figura 5-1).

## 1.2. El poder de la memoria: la historia de H. M.

Gran parte de la investigación que describe y clasifica los tipos de memoria a largo plazo tiene una base muy humana en el caso un paciente conocido como H. M. El modelo de impresionantes alteraciones de memoria observado en este individuo inició una revolución en nuestros conocimientos acerca de la memoria al poner de manifiesto que nuestra capacidad de codificar y recuperar nuevas memorias episódicas y semánticas depende de un conjunto particular de estructuras cerebrales, localizadas en la región media de los lóbulos temporales —el hipocampo y la corteza entorrinal, perirrinal y parahipocámpica adyacentes (Figura 5-2)—. La historia de H. M. pone de relieve la trascendencia de la memoria en nuestra vida mental y alumbra el importante papel que desempeñan los lóbulos temporales mediales en verificar nuestras experiencias.

A la edad de siete años, H. M. tuvo un accidente de bicicleta que le dejó inconsciente durante cinco minutos. Cuando tenía 10 años sufría ausencias típicas epilépticas[1] que finalmente evolucionaron hasta convertirse en convulsiones tónico-clónicas generalizadas[2]. Durante más de una década, la vida de H. M. estuvo cada vez más alterada por sus constantes crisis epilépticas: tuvo que dejar de asistir al instituto durante un tiempo y de trabajar cuando tenía 20 años. Debido a que las crisis no se pudieron controlar con medicación, a los 27 años se le realizó una extirpación quirúrgica bilateral de los lóbulos temporales mediales, que se pensaba era el lugar donde se originaban las crisis. Se le extirparon el hipocampo, la amígdala y gran parte de la corteza temporal medial adyacente (Figura 5-3). La intervención quirúrgica resultó eficaz para controlar las crisis de H. M., pero enseguida se hizo evidente que este logro se acompañaba de una inesperadamente devastadora pérdida de memoria (Corkin, 1984; Scoville y Milner, 1957).

Las pruebas de las capacidades cognitivas de H. M. ponen de manifiesto que su trastorno es muy específico, ya que su inteligencia y algunas funciones de la memoria están relativamente preservadas. Por ejemplo, cuando se le presenta una lista corta de números y se le pide que los recuerde durante 30 segundos, H. M. lo realiza tan bien como cualquier persona con lóbulos temporales mediales intactos. Esta observación indica que la *memoria operativa* (como se verá en el Capítulo 6), información que se mantiene durante un período de segundos o de minutos, no depende de las estructuras del lóbulo temporal medial. H. M. tiene también preservada la memoria a largo plazo de la información adquirida mucho antes de la operación. Recuerda su nombre y su antiguo trabajo y conserva el control del lenguaje, incluido el vocabulario, lo que indica que tiene preservada la memoria semántica adquirida previamente. También están salvaguardadas las memorias episódicas remotas: puede recordar con detalle acontecimientos de su infancia, incluso el haber montado en un carricoche con sus padres cuando tuvo su primera convulsión epiléptica el día que cumplió 16 años.

---

[1] Tipo de crisis epiléptica generalizada que se caracteriza por una detención de la conducta que se está desarrollando, una mirada vacía y, ocasionalmente, parpadeo; también conocida como *petit mal*. (*N. del T.*)

[2] Tipo de crisis epiléptica generalizada que se caracteriza por pérdida de consciencia y del equilibrio junto con convulsiones tónico-clónicas; también conocida como *grand mal*. (*N. del T.*)

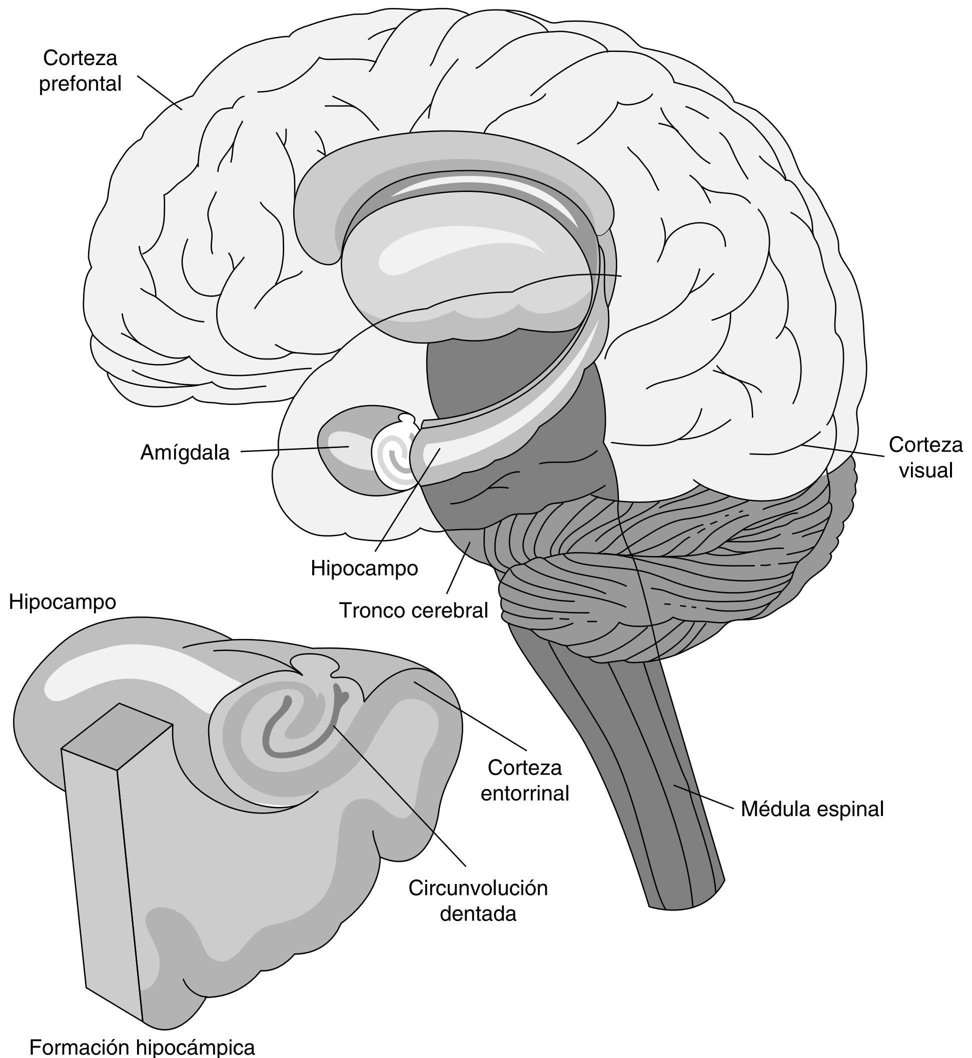



**FIGURA 5-2** Estructuras del lóbulo temporal medial del cerebro humano decisivas en la memoria declarativa

El hipocampo es una estructura situada profundamente en la parte medial del lóbulo temporal. La información llega a la formación hipocámpica desde regiones de la corteza temporal medial que la rodean, incluyendo a la corteza entorrinal.

(De Squire, L. R. y E. R. Kandel. *Memory: From Mind to Molecules*, p. 111 © 2000 Larry R. Squire y Eric R. Kandel. Reproducido con autorización de los autores.)

No obstante, pese a conservar algunas funciones de memoria, hasta el día de hoy H. M. sufre una grave **amnesia anterógrada**, la incapacidad de recordar conscientemente la información que se ha hallado *después* de un daño cerebral. Así pues, aunque H. M. puede retener brevemente una corta lista de números (ya que su memoria operativa está intacta) la olvida inmediata y completamente tan pronto como la información se desvanece de la memoria operativa. Este olvido tan dramático refleja una incapacidad de establecer, retener y recuperar nuevas memorias episódicas. En definitiva, H. M. está «congelado» en el tiempo y lo ha estado desde la década de los 50 —no puede poner al día la historia de su vida debido a su incapacidad de

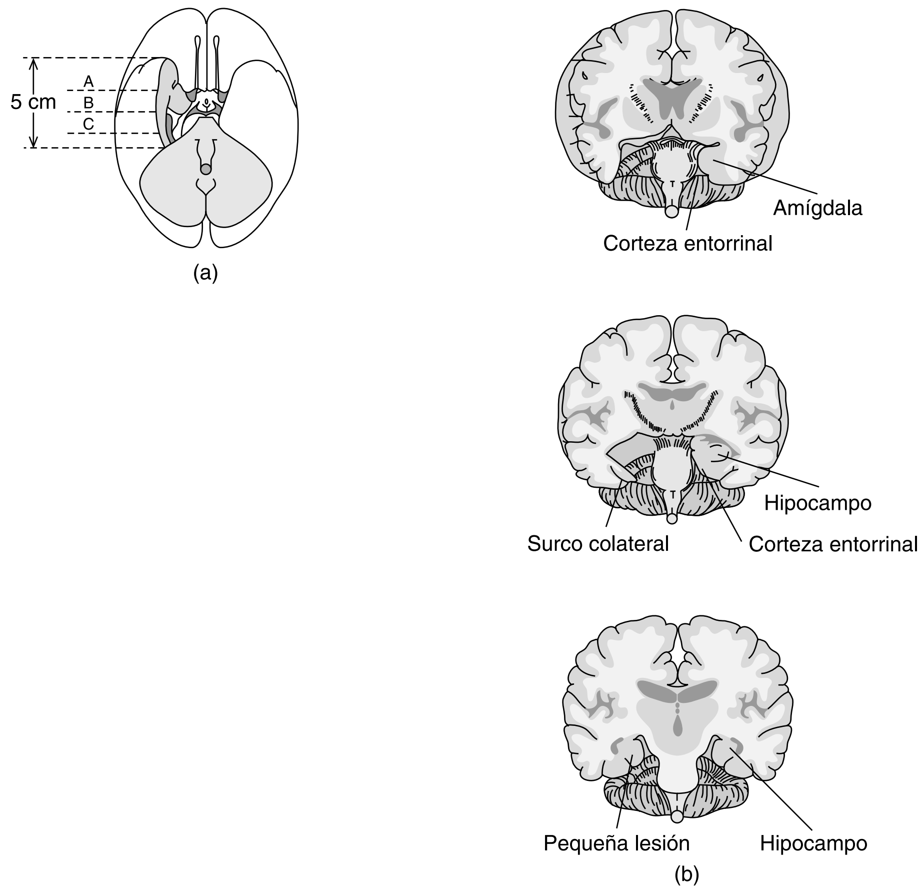


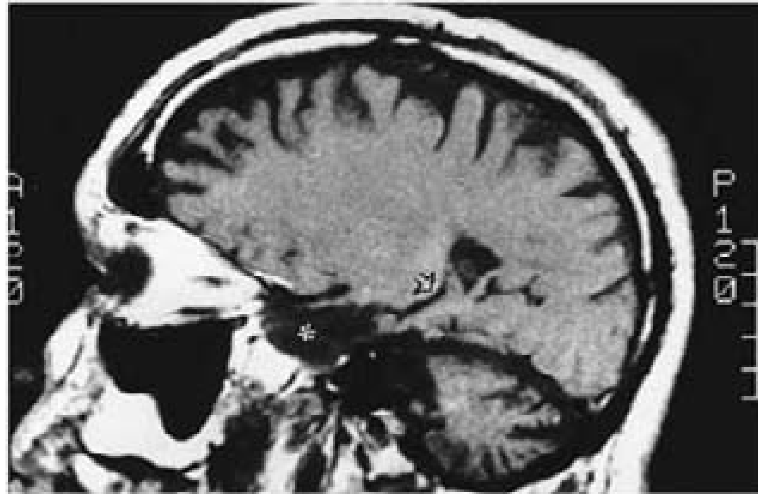

**FIGURA 5-3** Intervención quirúrgica del lóbulo temporal medial en el paciente H. M.

(a) Diagrama de una vista ventral del cerebro (esto es, visto desde abajo) en el que se muestra la extensión longitudinal de la lesión del lóbulo temporal de H. M. (b) Secciones transversales (vistas desde el frente) correspondientes a las localizaciones indicadas en la figura (a) en las que muestra la extensión aproximada de la extirpación quirúrgica de determinadas áreas del cerebro de H. M. (Obsérvese la falta de tejido cerebral en el extremo inferior izquierdo. De hecho, la intervención quirúrgica fue bilateral, pero en esta figura se representa intacto el lado izquierdo del cerebro para ilustrar mejor las estructuras que se extirparon).
(Corkin, S. *et al.*, 1997.H. M.'s medial temporal lobe lesion: findings from magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience, 17*, 3964-3979.)

recordar sus experiencias cotidianas—. El propio H. M. ha descrito elocuentemente esta secuela:

> Justo ahora me estoy preguntando si he hecho o dicho algo inconveniente. Mire, en este momento todo me parece claro pero ¿qué ha ocurrido inmediatamente antes? Esto es lo que me preocupa. Es como despertar de un sueño; simplemente, no recuerdo (Milner, 1966).

Una exploración exhaustiva indica que la amnesia anterógrada de H. M. es global; esto es, no puede recordar conscientemente nuevos acontecimientos, independientemente de su contenido o su modalidad sensorial. No puede recordar las personas, los lugares y los objetos que ve incluso después de repetidas ocasiones. Olvida rápidamente conversaciones cara a cara y canciones escuchadas en la radio, no puede recor-




(c)

**FIGURA 5-3** (continuación)

(c) Imagen de RMf de una sección parasagital (esto es, vista desde el plano lateral) del lado izquierdo del cerebro de H. M. La parte extirpada, de los lóbulos temporales anteriores está marcada con un asterisco. La flecha señala una parte remanente de la formación hipocámpica.

(Corkin, S., Amaral, D. G., González, R. G., Johnson, K. A. y Hyman, B. T. 1997. H. M.'s medial temporal lobe lesion: findings from magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*. Copyright © 1997 por la *Society of Neuroscience*. Reproducido con autorización.)

dar dónde vive o quién le cuida, e incluso tiene dificultades para recordar lo que ha comido. Está claro que su amnesia no refleja una deficiencia perceptiva ni un deterioro generalizado de inteligencia, más bien H. M. ha perdido la capacidad de establecer nuevas memorias semánticas tras su operación (un signo clínico no apreciado hasta finales de los años ochenta). Así pues, cuando se examinó su memoria semántica de expresiones como «*hippy*»[3], que había incorporado a su vocabulario después de su intervención pero que había escuchado repetidamente, H. M. desconocía su significado (suponía que «*hippy*» significa « persona joven que cultiva flores») (Gabrieli, Cohen y Corkin, 1988). Su amnesia anterógrada afecta tanto al conocimiento episódico como al semántico (O'Kane *et al.,* 2004).

H. M. también presenta cierta **amnesia retrógrada**, olvido de acontecimientos que ocurrieron *antes* del daño cerebral. Un aspecto importante de la amnesia retrógrada de H. M. es que tiene un *gradiente temporal*: cuanto más cerca de la intervención quirúrgica haya ocurrido el acontecimiento, más probable es que se haya olvidado. En particular, le cuesta más recordar experiencias que ocurrieron durante los 11 años inmediatamente anteriores a su intervención que recordar experiencias mucho más remotas de su infancia. Esta pauta de olvido indica que las memorias no dependen permanentemente de los lóbulos temporales mediales; si así fuera, incluso las memorias más remotas de H. M. deberían haberse olvidado. El hecho de que se hayan retenido las memorias remotas sugiere que *con el tiempo* se manifiesta algún proceso que alberga la información en la memoria, de modo que permanece incluso después de que se hayan lesionado los lóbulos temporales mediales. En cualquier caso, el modelo de

[3] En inglés, *flower child*, forma una frase. (*N. del T.*)

memoria operativa preservada y memoria a largo plazo afectada que presentó H. M. tras su intervención es una demostración contundente de que los lóbulos temporales mediales juegan un papel fundamental en la memoria a largo plazo (Squire, Stark y Clark, 2004).

## 1.3. Múltiples sistemas de aprendizaje y recuerdo a largo plazo

El impacto del estudio de H. M. continuó. Tras comprender que la memoria a largo plazo depende de los lóbulos temporales mediales, otra serie de pruebas de las capacidades de memoria de H. M. marcaron un segundo hito en la comprensión de cómo está organizada la memoria: no se requiere que los lóbulos temporales mediales estén intactos para *todos* los tipos de memoria a largo plazo. Aunque sufría graves alteraciones de la memoria episódica y semántica a partir de la extirpación de los lóbulos temporales mediales, H. M. podía, sin embargo, establecer y retener otros tipos de memorias a largo plazo.

La primera evidencia de este efecto llegó en la década de los 60 con la observación de que H. M. podía adquirir nuevas habilidades motoras a un ritmo normal y de que su nivel de retención a largo plazo de estas nuevas habilidades era comparable al de personas sanas utilizadas como referencia. (Milner, 1962). Por ejemplo, H. M. pudo adquirir la habilidad de «dibujo en espejo». En el dibujo de una estrella trazada con un contorno de doble línea, H. M. tenía que dibujar una tercera línea en el espacio comprendido entre las dos existentes —valiéndose sólo del reflejo de su mano y de la estrella en un espejo (Figura 5-4)—. Esta tarea requiere volver a cartografiar la percepción visual convirtiéndola en acciones motoras dado que el *input visual* está invertido en espejo. Se le examinó durante varios días, observándose que su mejora en la ejecución de la tarea —una medida de aprendizaje— fue similar a la de los sujetos control sin alteraciones de memoria. H. M. se fue haciendo progresivamente más hábil, trazando la estrella con mayor velocidad y exactitud cada día, pero al final del día no tenía un recuerdo consciente de haber realizado antes esta tarea. Estas observaciones proporcionaron una clara demostración de que en la amnesia se pueden distinguir diferentes tipos de memoria a largo plazo.

Al observarse que H. M. conservaba su capacidad de aprendizaje de habilidades después de su intervención quirúrgica, se suscitó una cuidadosa reevaluación de sus capacidades de memoria, así como las de otros pacientes con amnesia que sufrían anomalías de memoria declarativa similares derivadas de una lesión de los lóbulos temporales mediales. Las investigaciones desvelaron que existe toda una clase de memorias a largo plazo —ahora denominadas memorias no declarativas (implícitas)— que operan fuera de la consciencia y que se mantienen en caso de lesión de los lóbulos temporales mediales. Por ejemplo, Warrington y Weiskrantz (1968, 1974) comprobaron que pacientes con amnesia podían presentar signos indirectos de aprendizaje reciente en un ámbito perceptivo. En sus experimentos se les mostró a pacientes con amnesia y a sujetos del grupo de referencia listas de palabras tales como AUSENTE, INGRESO y POTRA. Luego se examinó la memoria de las palabras. Sin embargo, en vez de pedir a los sujetos que recordaran o reconocieran las palabras de la lista, Warrington y Weiskrantz les pidieron sólo que intentaran completar el comienzo de cada palabra (o la «raíz de la palabra»), tomadas de la lista, para formar palabras comple-

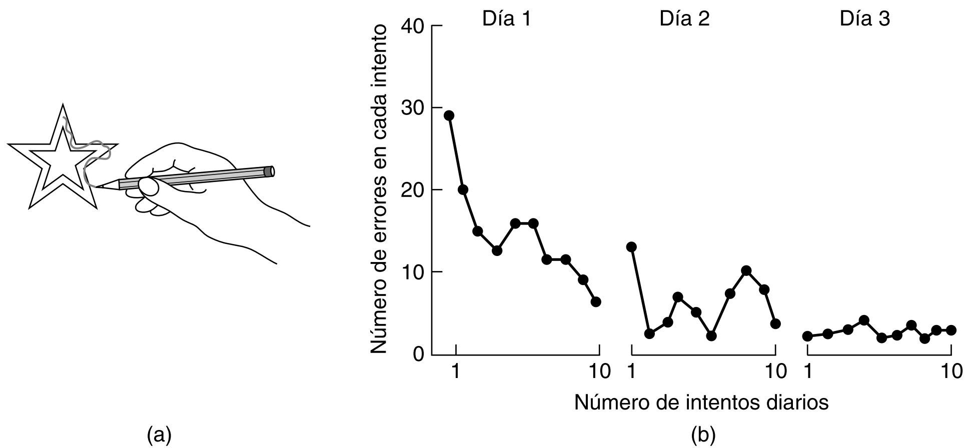



**FIGURA 5-4** Mejoría manifestada por H. M. en tareas que implican aprendizaje de movimientos de precisión

(a) La tarea: trazar el contorno de una estrella en el espacio comprendido entre las dos líneas de contorno mientras se observa el movimiento de la mano en un espejo. (b) En la gráfica figura el número de veces en los que, en cada intento y a lo largo de tres días, H. M. rebasó los límites marcados por las líneas del contorno al dibujar la estrella. Al igual que los pacientes sin enfermedad neurológica, H. M. lo fue haciendo considerablemente mejor en el transcurso de numerosos intentos, pero no tenía un recuerdo consciente de haber realizado antes esta tarea.

(Adaptado de Brenda Milner, Larry R. Squire y Eric R. Kandel, Cognitive neuroscience and the study of memory, Neuron 20 (1998): 445-468, Fig. 2. De Squire, Larry R. y Eric R. Kandel. *Memory: From Mind to Molecules*, W. H. Freeman and Company, New York, 2000, p. 13. Reimpreso con autorización de Elsevier).

tas (por ejemplo, AUS______ se podía completar como AUSENTE o como AUSPICIO). Con estas instrucciones, que no hacían referencia explícita a la lista original, lo más probable era que tanto los pacientes con amnesia como los sujetos del grupo de referencia completaran las raíces de las palabras formando palabras que se les habían presentado inicialmente (AUSENTE y no AUSPICIO). Más tarde se aclaró por qué se da un efecto semejante de *priming* —que en este caso es un aumento de la probabilidad de generar, o producir, una respuesta determinada (por ejemplo, AUSENTE) relacionada con un estímulo presentado previamente— en los pacientes con amnesia. Graf y sus colaboradores (1984) demostraron que los pacientes con amnesia manifestaban un *priming* normal cuando las instrucciones de la prueba eran completar la raíz de cada palabra con la primera palabra que les viniera a la mente, pero que su rendimiento se veía disminuido cuando las instrucciones eran completar cada raíz recordando un elemento presentado previamente.

Tales informes de que se conserva el *priming* después de una lesión del lóbulo temporal medial indican que las capacidades de memoria a largo plazo de los pacientes con amnesia no sólo se limitan a habilidades motoras como el dibujo en espejo. Los pacientes con amnesia pueden mejorar su rendimiento en ciertas tareas perceptivas y conceptuales, aunque demuestran una memoria episódica deficiente de las ocasiones anteriores en que se han encontrado con el material. Una cantidad considerable de datos señalan que la memoria episódica y el *priming* obedecen a principios subyacentes diferentes, incluso en personas sin trastornos neurológicos. Estudiaremos con mayor detalle esta memoria no declarativa en el apartado final de este capítulo.



### *Control de comprensión*



1. ¿Cuáles son las diferencias entre la memoria declarativa y la no declarativa?
2. ¿Cuáles son los dos tipos de amnesia?

## 2 Codificación: cómo se establece la memoria episódica

Algunos episodios de la vida, triviales o cruciales, pueden recordarse tan bien que podemos recuperar mentalmente una enorme cantidad de detalles, incluso cuando ha transcurrido un tiempo considerable —recordamos con placer una cena italiana que compartimos con la amiga que encontramos de nuevo en el vestíbulo—. Cuesta más recordar otras experiencias o, lo que es peor, estos recuerdos se pueden perder de forma irrecuperable —¿cuál *es* el nombre de ese individuo?, ¿no está en mi departamento de física?—.

¿Qué es lo que determina si una experiencia se recordará o se olvidará? Los primeros estudios experimentales de la memoria humana, realizados a finales de 1800, investigaron este enigma. Las investigaciones que se llevaron a cabo durante ese siglo demostraron que un conocimiento completo de cómo se establecen las memorias requiere tener en cuenta los muchos procesos cognitivos y neurobiológicos que constituyen las tres etapas del procesamiento de la memoria —codificación, consolidación (la modificación de las representaciones en la memoria de modo que se vuelvan estables) y recuperación— así como las interacciones entre estas diferentes etapas.

**Codificación** es el término que se utiliza para designar los diversos procesos mediante los cuales la información se transforma en una representación de memoria. Estos procesos se ponen en movimiento en el momento de la experiencia, dando lugar a una representación mental que registra alguno o algunos aspectos de dicha experiencia. Todas las formas de memoria, declarativa y no declarativa, comienzan con la codificación. Pero debido a que la memoria episódica registra la historia singular de la vida de cada persona, parece ser un punto de partida conveniente para nuestro estudio de cómo opera la codificación.

Un modo de descubrir las propiedades fundamentales de la codificación es intentar determinar qué es lo que fortalece el proceso. Este enfoque ha demostrado que la codificación está influida por una serie de factores, entre los que se incluyen en qué grado atendemos a la información y hasta qué punto «elaboramos», o profundizamos en su significado. La **elaboración** implica interpretar la información, relacionarla con otra información y reflexionar sobre ello. Otras influencias que refuerzan la codificación, son la recuperación consciente de la información y una práctica que sea «distribuida», o espaciada, en el tiempo. Como sugerían los estudios de pacientes con amnesia, los lóbulos temporales mediales juegan un papel crucial en la codificación episódica. Los estudios de neuroimagen y los datos clínicos indican asimismo que los lóbulos frontales contribuyen a la atención y a un procesamiento en el que se elabora la información, afectando así a la codificación.

## 2.1. La importancia de la atención

No somos los únicos que en alguna ocasión hemos dicho cosas como «dónde habré dejado las gafas» o «repítame el nombre del nuevo profesor ayudante». No es probable que esta clase de olvidos de acontecimientos cotidianos sean un signo de mala memoria o un presagio de declive intelectual debido a la edad. Muchos casos de olvido son simplemente la consecuencia natural de una codificación ineficaz de una experiencia para transformarla en una memoria episódica en primer lugar.

Una de las razones más obvias y trascendentales de una codificación deficiente es el fallo en atender a un acontecimiento mientras está ocurriendo. Cuando la atención que se presta a la información está dividida, por ejemplo porque se está distraído, la codificación es más débil y los intentos posteriores de recordarla probablemente fracasen. Puede que hayamos olvidado dónde dejamos las gafas debido a que aún estemos intentando recordar el nombre del estudiante de física que vimos en el vestíbulo. Y puede que hayamos olvidado su nombre porque, cuando lo encontramos en la primera ocasión, teníamos la atención puesta en el inminente examen de física.

El papel de la atención en la codificación se ha estudiado en laboratorio. En una serie de experimentos (Craik *et al.*, 1996), se les pidió a los sujetos que intentaran recordar 15 palabras presentadas auditivamente en una de dos condiciones. En la condición de *atención plena*, no se les daba a los sujetos más tarea que intentar recordar las palabras. En la condición de *atención dividida*, durante la presentación de las palabras se pedía también a los sujetos que vigilaran la posición de un asterisco en una pantalla de ordenador y presionaran uno de cuatro botones según cambiara su localización. Los sujetos recordaron un promedio de nueve de las 15 palabras cuando la codificación se realizó en condiciones de atención plena, pero sólo recordaron cinco palabras cuando la codificación se hizo al tiempo que la tarea secundaria. Otros muchos experimentos han aportado pruebas igualmente convincentes de que para que la codificación sea efectiva se requiere atención. Los estudios de neuroimagen indican que la pauta de activación neural durante la codificación en condiciones de atención plena difiere del que sucede cuando la atención está dividida. En un estudio, se exploró mediante TEP el cerebro de los sujetos mientras trataban de codificar pares de ejemplares de categoría (por ejemplo, POETA-BRONCEADO) (Shallice *et al.*, 1994). Esta codificación se llevó a cabo mientras los sujetos realizaban una tarea secundaria o bien «fácil» o bien «difícil», definida la fácil como la que «precisa menos atención». Hubo dos hallazgos significativos. El primero fue que el rendimiento comportamental del grupo con la «tarea fácil» fue mejor que el del grupo con la «tarea difícil». El segundo, que las imágenes TEP del cerebro mostraron que ciertas regiones del lóbulo frontal izquierdo estaban más activas cuando la codificación se acompañaba de la tarea secundaria fácil, lo que indica que los lóbulos frontales sustentan la capacidad de atender durante el aprendizaje y, al hacerlo, afectan a la codificación episódica (Uncapher y Rugg, 2005).

## 2.2. Niveles de procesamiento y codificación con elaboración

La evidencia de que la atención es decisiva para la codificación podría sugerir la conclusión de que se requiere el *intento* para que se establezca eficazmente la memoria. Pero no vayamos tan deprisa: aunque el intento de codificar puede motivar la atención, el intento, o propósito, *per se* no es necesario para que la codificación sea efecti-

va. La codificación es una consecuencia inmediata del hecho de atender a un estímulo y procesarlo (Craik y Lockhart, 1972). Lo que influye en la eficacia de la codificación es el modo en el que se procesa el estímulo, no la razón por la que se realizó el procesamiento.

### 2.2.1. Teoría de los niveles de procesamiento: argumentos y limitaciones

Consideremos los diversos tipos de operaciones cognitivas que podríamos realizar la primera vez que nos encontramos con alguien. Al mirar el rostro de la persona, puede que observemos algún aspecto de la estructura de su apariencia. O puede que observemos la fonología —los sonidos del habla— del nombre de la persona. O puede que *elaboremos* detalles conceptuales que hayamos averiguado en ese primer encuentro, un punto de vista político, por ejemplo, y lo relacionemos con el nuestro. En este sentido, la elaboración consiste en generar información adicional.

La teoría de los **niveles de procesamiento** se basa en el hecho de que hay diversos aspectos de un estímulo dado que pueden atenderse y procesarse. Desde este punto de vista, la codificación se considera un subproducto del procesamiento del estímulo, el procesamiento de aspectos particulares de un estímulo que deja el residuo correspondiente en el sistema que puede guiar el recuerdo posterior. Se piensa que diferentes aspectos del procesamiento del estímulo corresponden a diferentes niveles de análisis que van desde un nivel «poco profundo» o superficial de análisis perceptivo a un nivel «profundo» (esto es, nivel de elaboración) de análisis semántico (esto es, basado en el significado) que relaciona de modo activo la información aferente con el conocimiento ya almacenado en la memoria (Figura 5-5). Conforme a esta teoría, la eficacia de la codificación depende en gran parte del nivel del procesamiento al que se somete a un estímulo: el procesamiento en mayor profundidad da lugar a una representación más fuerte, más duradera; y por lo tanto aumenta la probabilidad de que el estímulo se recuerde.

Muchos estudios comportamentales han apoyado la hipótesis de que la memoria episódica se beneficia de un procesamiento «profundo» (esto es, con elaboración). En uno de estos estudios (Craik y Tulving, 1975) los sujetos vieron palabras y tomaron una de tres decisiones respecto a cada palabra. Respecto a algunas palabras, los sujetos tenían que decir si las palabras estaban escritas con mayúsculas o con minúsculas —una condición estructural «poco profunda»—. Respecto a un segundo conjunto de palabras, se les preguntaba si cada una de ellas rimaba con una palabra «objetivo» —una condición fonológica «intermedia»—. Respecto a las palabras del tercer con-

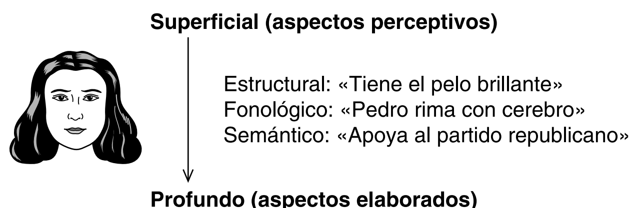



**FIGURA 5-5** Niveles de procesamiento representados en la figura

Según la teoría de los niveles de procesamiento, diferentes aspectos del procesamiento del estímulo se corresponden con diferentes niveles de análisis, los cuales varían de un nivel «superficial», de análisis perceptivo, a un nivel «profundo», de análisis semántico.

junto, se les pedía que decidieran si cada una de ellas era miembro de una categoría particular —una condición semántica «profunda»—. Coincidiendo con la hipótesis de niveles de procesamiento, una prueba posterior de memoria reveló que el porcentaje de palabras de cada conjunto que se reconoció posteriormente como estudiado difería notablemente en los tres conjuntos: se reconoció el 78% de las palabras que habían sido sometidas a una codificación «profunda», el 57% tras una codificación «intermedia» y sólo el 16% tras una codificación «poco profunda». La memoria episódica se beneficia sustancialmente de la elaboración del significado de un estímulo o un acontecimiento en el momento en que se conoce. La teoría de los niveles de procesamiento sugiere que los estímulos y acontecimientos que probablemente recordaremos mejor son aquellos que procesamos activamente para extraer un significado. Nuestro recuerdo del momento en que conocimos a alguien que también se había criado en Des Moines, le gusta el mismo tipo de cocina que a nosotros y apoya al partido republicano es claro y detallado debido a la elaboración que aporta su relación con otras representaciones de información que ya están en la memoria y se compartieron en la conversación.

Como en el experimento de Craik y Tulving (1975), la mayoría de los estudios que han sometido a prueba la teoría de los niveles de procesamiento han usado instrucciones que revelan **aprendizaje accidental**, aprendizaje que ocurre no como resultado de un intento dirigido a un fin sino como un subproducto de la ejecución de una tarea. En estas instrucciones no se dirige explícitamente a los sujetos a aprender, sino que más bien se les pide que realicen una tarea particular con los estímulos. Dado que los sujetos ignoran que se examinará la memoria de los estímulos, no intentan deliberadamente aprender, y el aprendizaje está asociado a la realización de la tarea. El fenómeno del aprendizaje accidental nos ayuda a entender cómo es que podemos recordar nuestras experiencias cotidianas, las cuales, a fin de cuentas, por lo general no intentamos deliberadamente codificar transformándola en memoria. No es probable que intentáramos codificar nuestro encuentro con nuestro correligionario político la primera vez que ocurrió. No obstante, lo recordamos porque la codificación ocurre cada vez que procesamos o atendemos a estímulos o a sucesos cuando éstos ocurren. (Tampoco intentamos codificar nuestro primer encuentro con el estudiante de Físicas —pero, con más motivo, tampoco atendimos particularmente a éste; de modo que el encuentro dejó tan solo una débil memoria y tuvimos dificultades para recordarlo—).

La teoría de los niveles de procesamiento ha contribuido en gran medida a comprender los procesos que llevan a la codificación episódica y, por lo tanto, contiene un considerable caudal explicativo. Pero la teoría tiene limitaciones. Por ejemplo, como Shakespeare dijo en otro contexto: «¿Quién ha medido el terreno?». No hay otra manera de medir la «profundidad» o cuantificar el «nivel» de procesamiento que requiere una tarea de codificación particular, más que la de «medir» su repercusión en la memoria. La falta de una medida independiente de profundidad hace difícil examinar la teoría.

Una cuestión más decisiva atañe a la interpretación: ¿Reflejan los efectos de los niveles de procesamiento diferencias en la fuerza y durabilidad de la codificación, o diferencias en cuáles son los aspectos de un estímulo que se seleccionan para su codificación y la correspondencia entre el tipo procesamiento realizado en la codificación y el realizado en la recuperación? Algunos investigadores opinan que no es una cuestión de nivel sino de emparejamiento entre lo que se codifica y lo que se examina en la recuperación. Si la recuperación exige recobrar detalles semánticos de una expe-

riencia pasada, entonces el procesamiento de la codificación será más eficaz porque aumenta la probabilidad de que los aspectos semánticos de estímulo o del suceso se almacenen en la memoria; pero si la recuperación exige recobrar detalles perceptivos, entonces el procesamiento perceptivo en la codificación será más efectivo por la razón complementaria. Este principio —el procesamiento en la codificación es más efectivo en la medida en que dicho procesamiento se solape con el procesamiento que ha de realizarse en la recuperación— se conoce como **procesamiento apropiado de transferencia** (Morris *et al*., 1977).

En un importante estudio que sometió a prueba los enfoques de los niveles de procesamiento y el procesamiento apropiado de transferencia, Morris y sus colaboradores (1977) hicieron que los sujetos codificaran palabras tomando decisiones basadas en la rima o en la semántica de cada palabra. Durante la recuperación se examinó la memoria de dos maneras. Una tarea que requería reconocer palabras que se habían estudiado previamente puso de manifiesto el efecto de niveles de procesamiento estándar (mayor memoria tras una codificación semántica). Por lo contrario, una tarea que requería reconocer palabras que rimaban con otras estudiadas anteriormente puso de manifiesto una mayor memoria tras una codificación de rima. El nivel de procesamiento no afecta necesariamente la fuerza o durabilidad de la memoria codificada, más bien influye en *qué* es lo que se codifica. Los procesos de codificación producen una memoria superior en el grado en que las características atendidas y procesadas durante la codificación se solapen con las que se están buscando durante la recuperación. Para una discusión más detallada de este trabajo que marcó época, véase el recuadro *Una visión más detenida*.

Una idea relacionada, propuesta por Tulving y Thompson (1973) y que recibe el nombre de **principio de especificidad de codificación**, afirma que nuestra capacidad de recordar un estímulo depende de la semejanza entre el modo en el que se procesa el estímulo durante la codificación y el modo en el que se procesa durante el examen. Por ejemplo, si la palabra *banco* se interpreta durante la codificación en su acepción «ribera de un río» en vez de como «institución financiera», entonces el recuerdo será superior si durante la recuperación se interpreta *banco* como «ribera de un río».

### 2.2.2. Cerebro, elaboración semántica y codificación episódica

Puesto que el procesamiento semántico suele producir niveles más altos de rendimiento de memoria (en las pruebas estándar) que el procesamiento semántico, es razonable preguntarse si las regiones cerebrales que están más activas durante tareas de procesamiento semántico son regiones que dan soporte a procesos de codificación que influyen en el aprendizaje. En una serie de estudios se registró la actividad cerebral de los sujetos mientras codificaban palabras en condiciones de procesamiento semántico o perceptivo (Gabrieli *et al.,* 1996; Kapur *et al.,* 1994; Wagner *et al.,* 1998, 2005). Se observó mayor grado de activación en la región inferior del lóbulo frontal izquierdo durante el procesamiento semántico en comparación con el procesamiento perceptivo. Una pauta similar se observó en las regiones lateral y medial del lóbulo temporal izquierdo (Figura 5-6).

Se nos ocurre una correspondencia interesante. Sabemos por los estudios que utilizan tareas secundarias «fáciles» y «difíciles» que la atención dividida disminuye la activación del lóbulo frontal izquierdo y la codificación episódica durante el **aprendizaje deliberado**, aprendizaje que ocurre como consecuencia de un intento con un propósi-

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

### Procesamiento apropiado de transferencia

Vamos a examinar el conocido trabajo de C. D. Morris, J. D. Bransford y J. J. Franks, publicado en 1977 bajo el título de «Levels of Processing versus Transfer Appropiate Processing», *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour, 16*, 519-533.

**Introducción**

Los investigadores plantearon la hipótesis de que el nivel de procesamiento en la codificación no influye en el rendimiento de memoria posterior aisladamente, sino que más bien la memoria posterior depende, al menos en parte, del solapamiento entre el procesamiento implicado en la codificación y en la recuperación. Dicho de otro modo, el procesamiento apropiado de transferencia propone que existe una interacción entre la codificación y la recuperación, lo que conduce a la predicción de que el rendimiento de memoria será mejor cuando el procesamiento de la codificación se solape con (y, por lo tanto, se transfiera a) el procesamiento de la recuperación.

**Método**

Los investigadores sometieron a prueba su hipótesis examinando el rendimiento de estudiantes universitarios en tareas de memoria, para lo que usaron un diseño experimental que combinaba dos tareas de codificación (*semántica* y *de rima*) junto con dos tareas de recuperación (*reconocimiento estándar* y *reconocimiento por rima*).

Todos los sujetos estudiaron 32 palabras «objetivo» incluidas en frases. Para cada palabra, el investigador leyó inicialmente en voz alta una frase en la que se había omitido la palabra objetivo (por ejemplo, «El ________ tiene una máquina plateada.»). Después de cada frase, se le presentó una palabra objetivo al sujeto, quien debía decidir si encajaba en la frase. Había dos tipos de frases, *semánticas* y *rimas*, y se estudiaron 16 palabras de cada tipo. En las frases semánticas, los sujetos tenían que decidir si la palabra objetivo era semánticamente coherente o incoherente en la frase (TREN sería coherente con la frase del ejemplo, mientras que MANZANA no lo sería). En las frases con rima (por ejemplo, «______________ rima con legal»), los sujetos tenían que decidir si la palabra objetivo era, desde el punto de vista fonético, coherente (CERVAL) o incoherente (SILLA).

Después de codificar las 32 palabras objetivo, se examinó la memoria utilizando, ya fuera una prueba de *reconocimiento estándar*, o una de *reconocimiento de rima*; la mitad de los sujetos realizaron la prueba estándar y la otra mitad la de de rima. En la prueba estándar se presentaron 32 palabras objetivo y 32 palabras no estudiadas, una cada vez y en orden aleatorio. Los sujetos respondían «SÍ» en el caso de que reconocieran la palabra de la prueba como una palabra que habían estudiado, y «NO» si no lo hacían. En la prueba de rimas, se les presentó a los sujetos una lista, ordenada al azar, de palabras que rimaban con las palabras estudiadas y de palabras no estudiadas que no rimaban. Los sujetos respondían «SÍ» cuando reconocían la palabra de la prueba como una que rimaba con una de las palabras estudiadas y «NO» cuando no rimaban.

Al constar de dos condiciones de estudio y de dos tipos de prueba, el diseño experimental produjo cuatro condiciones críticas que combinaban codificación (semántica/rima) y prueba (estándar/rima): semántica + prueba estándar, semántica + prueba de rima, rima + prueba éstandar, rima + prueba de rima.

**Resultados**

Los datos de interés son el porcentaje de ensayos de la prueba en los que los sujetos reconocieron correctamente ya fuera las palabras estudiadas (prueba estándar) o las rimas de las palabras estudiadas (prueba de rima), con la corrección correspondiente a las respuestas erróneas a palabras no estudiadas o

a fallos en la rima respecto a palabras estudiadas. El análisis se centra en la memoria de elementos que eran coherentes en el contexto de la frase durante la codificación; la cuestión clave es cómo varió el rendimiento en las cuatro condiciones críticas de codificación + condiciones de la prueba. Los resultados se recogen en la tabla siguiente:

| | **Prueba estándar** | **Prueba de rima** |
|---|---|---|
| Modo de codificación semántico | 84% | 33% |
| Modo de codificación por rima | 63% | 49% |

Estos datos revelan una interacción sorprendente: cuando se examina la memoria utilizando la prueba estándar, el rendimiento es claramente mejor tras codificación semántica que tras codificación por rima, mientras que cuando se prueba la memoria utilizando la prueba de rima, el rendimiento es claramente mejor tras codificación por rima que tras codificación semántica.

**Discusión**

La interacción observada apoya la hipótesis del procesamiento apropiado de transferencia: el procesamiento durante la codificación es particularmente eficaz en la medida en que se superpone con el procesamiento durante la recuperación. Estos datos están a favor de la interpretación de que el nivel de procesamiento no influye en la fuerza de la codificación *per se*, sino que más bien influye en qué es lo que se codifica. Cuando el procesamiento en el estudio fomenta la codificación de la información que se deseará en la fase de recuperación, entonces dicho procesamiento resultará particularmente eficaz para mejorar el rendimiento de memoria posterior.

to determinado (Shallice *et al.*, 1994). También sabemos que durante el *aprendizaje accidental*, la activación del lóbulo frontal izquierdo disminuye en los niveles de procesamiento más superficiales. Esta superposición de regiones cerebrales implicadas durante el aprendizaje deliberado y el accidental coincide con la idea de que la atención, en sí misma, no determina el aprendizaje. Antes bien, el aprendizaje deliberado afecta a la codificación en la medida en que motiva la elaboración y así conduce a un procesamiento a un nivel más profundo.

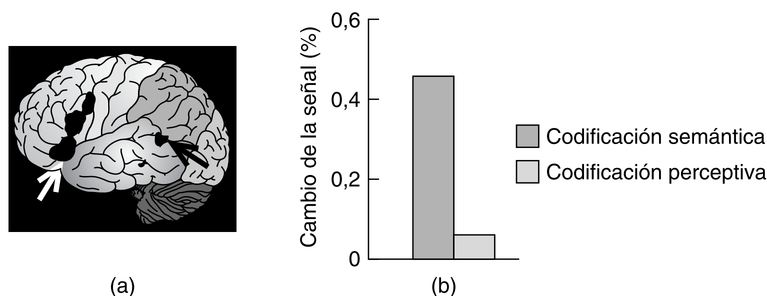



**FIGURA 5-6** Activación cerebral en el procesamiento perceptivo y en el semántico

(a) La corteza frontal inferior izquierda (*flecha blanca*) y la corteza temporal lateral izquierda (*flecha negra*) están activas mientras atendemos al significado de los estímulos y lo elaboramos.

(Wagner *et al.* (2001). Recovering meaning: left prefrontal cortex guides controlled semantic retrieval. *Neuron, 31*, 329-338 (Fig. 3b. Reimpreso con autorización de Elsevier.)

(b) Cuando se representan gráficamente los datos, el gráfico muestra que la activación frontal izquierda (manifestada como un cambio de la señal) es mayor durante el procesamiento semántico de las palabras que durante su procesamiento perceptivo.

(Wagner *et al.* (2000). Task-specific repetition priming in left inferior prefrontal cortex. *Cerebral Cortex, 10*, 1176-1184. Reimpreso con autorización de Oxford University Press).

Para evaluar con mayor precisión cómo los acontecimientos vividos se convierten en memorias, los investigadores han tratado de buscar una asociación más estrecha entre el hecho de recordar y el tipo de actividad cerebral. Un enfoque particularmente eficaz registra la actividad del cerebro durante la codificación y relaciona los resultados con que los sujetos lograran o no posteriormente un recuerdo. La principal diferencia se encuentra entre las respuestas neuronales durante la codificación de sucesos que se recuerdan más tarde y las respuestas neuronales durante la codificación de sucesos que se olvidan más tarde. Al identificar la actividad cerebral en el momento en el que se originan las memorias, este método pone de manifiesto las respuestas neurales que predicen el destino nemónico de una experiencia —es decir, si se recordará o se olvidará—.

En un estudio de resonancia magnética funcional (RMf) que utilizó este enfoque, se exploró la actividad cerebral de los sujetos mientras emitían juicios semánticos sobre una serie de palabras (Wagner *et al.,* 1998). La memoria de las palabras que guardaron los sujetos se valoró más tarde y se relacionó con los datos de RMf durante la codificación. Los análisis revelaron que se daba un grado mayor de activación en la región inferior del lóbulo frontal y en la región medial del lóbulo temporal del hemisferio izquierdo durante la codificación de palabras que se recordaron más tarde, que cuando se codificaban palabras que se olvidaron más tarde (véase la Figura 5-7 en el Inserto a color C). Además, las regiones que predecían la memoria posterior eran aquellas en las que previamente se había identificado un efecto de «nivel de procesamiento». En un estudio relacionado sobre aprendizaje visual (Brewer *et al.,* 1998) se halló una pauta similar, pero en esta ocasión en el lóbulo frontal derecho y en los dos lóbulos temporales mediales. Estos datos indican que una mayor participación de los mecanismos de atención del lóbulo frontal aumenta la eficacia de la codificación; el lóbulo frontal izquierdo sustenta la codificación de palabras y el lóbulo frontal derecho, la codificación de estímulos no verbales. Al parecer, estos procesos de los lóbulos frontales interactúan durante el aprendizaje eficaz con mecanismos de aprendizaje localizados en el lóbulo temporal medial.

## 2.3. Mejora de la codificación: generación y espaciamiento

Como se ha expuesto antes, las circunstancias en que se conoce inicialmente la información influyen en la fortaleza de la codificación: hay diferencia si se le presta atención; hay diferencia si, al mismo tiempo, se elabora la información. Las investigaciones han descubierto asimismo otros factores que mejoran la fortaleza de la representación que se codifica. Un procedimiento se vale del *efecto de generación*, por el que el aprendizaje episódico es mejor si se puede generar la información objetivo a partir de la memoria, que cuando la información la presenta otra persona. Otro procedimiento utiliza el *efecto de espaciamiento*, por el que la codificación a lo largo de múltiples ensayos de estudio de la misma información es óptima cuando se sigue una pauta determinada de secuencia temporal de los ensayos de estudio.

### 2.3.1. Efecto de generación

Fichas breves: es posible que las hayamos utilizado en el colegio: en una cara $9 \times 7 = ?$ En la otra 63. Los estudiantes de medicina las utilizan para aprender los síntomas de diagnóstico, los estudiantes de química para aprender las fórmulas de

compuestos y de aleaciones, los estudiantes de lengua, para aprender vocabulario. La fórmula en una cara de la tarjeta, la respuesta en el otro. Son bastante aburridas.

Pero el método de fichas breves es muy eficaz para aprender y hay una importante razón para ello: el hecho de recuperar información de la memoria o de generarla basándose en ella mejora notablemente la codificación. «Generar» aquí no significa «crear»; más bien enfatiza la idea de una producción activa de la información en vez de un estudio pasivo.

El término **efecto de generación** describe el fenómeno observado de que es más probable recordar la información que uno mismo ha recuperado o generado (durante el estudio) que la información que simplemente se recibe y se intenta «memorizar». Así pues, es más probable que recordemos los 12 pares craneales si lo aprendemos mediante una ficha breve, lo que exige una acción por nuestra parte, que si lo estudiamos en una lista. El efecto es una demostración experimental de la idea generalmente aceptada de que a menudo las cosas se aprenden mejor haciéndolas.

El efecto de generación se describió por primera vez tras un experimento (Slamecka y Graf, 1978), en el cual los sujetos aprendieron pares de palabras de una de dos formas. En la condición de «lectura», se presentaban los pares de palabras y los sujetos decidían si la segunda palabra era un sinónimo de la primera (INFELIZ-TRISTE) o una rima de la primera (CHISTE-TRISTE). En la segunda tarea de aprendizaje, —la condición de «generación»— los sujetos debían generar un sinónimo (por ejemplo, de INFELIZ-T________) o una rima (por ejemplo, de CHISTE-T________). Después del aprendizaje, cuando se examinó la memoria de los sujetos respecto a la segunda palabra (dándoles la primera como clave), se pusieron de manifiesto dos efectos. La memoria fue mejor después de una codificación semántica, la cual depende del significado de las palabras, que después de una codificación fonológica, la cual sólo considera su sonido. Este fue el efecto del nivel de procesamiento. Por otra parte, el índice de memoria global fue mejor cuando a los sujetos se les pedía que generasen ellos mismos la segunda palabra, que cuando dicha palabra la presentaba el experimentador y tan solo tenían que leerla (Figura 5-8).

Se piensa que generar la información basándose en la memoria es un fenómeno de codificación más potente que sólo procesar la información presentada externamente, porque para generar se requiere tanto elaboración como un mayor grado de atención. Esta conclusión procede de experimentos de neuroimagen, los cuales han demostrado que el lóbulo frontal izquierdo, que muestra un efecto de nivel de procesamiento, está asimismo más activo cuando se generan palabras que cuando se leen (Petersen *et al.*, 1988). El procesamiento apropiado de transferencia sugiere además que la generación es un modo particularmente eficaz de aprender, debido a que es más probable que los procesos involucrados durante la generación inicial en la codificación se solapen con los que se requieren para generar la información a partir de la memoria en la recuperación.

### 2.3.2. Efecto de espaciamiento

¿Deberíamos revisar una y otra vez una traducción, o una fórmula química, volviendo la ficha boca arriba y boca abajo repetidas veces y después pasar por fin al siguiente elemento a analizar?, ¿o deberíamos revisar un grupo de fichas y luego volverlo a repasar? La primera manera de abordar el problema, en la que se realizan muchos intentos con el mismo estímulo sin interrupción, se conoce como **práctica ma-**

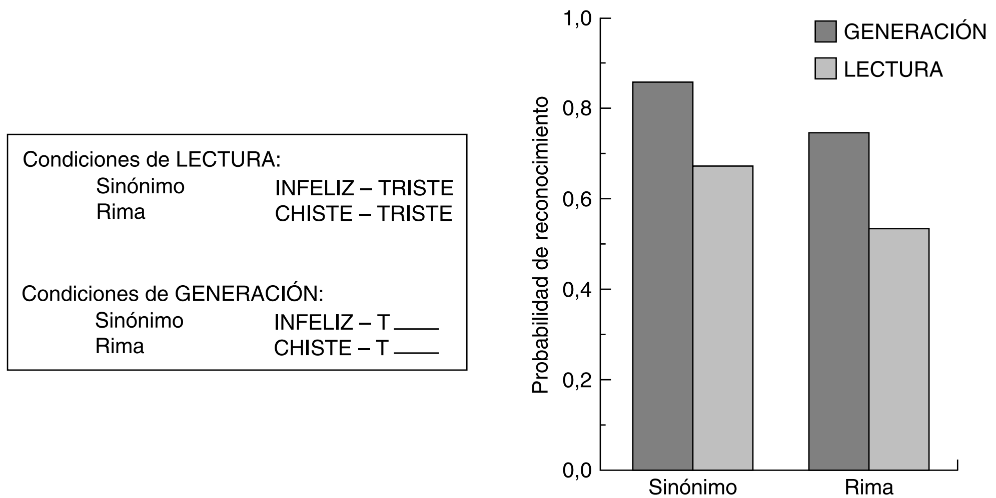



**FIGURA 5-8** Efectos de la generación y del nivel de procesamiento

Los sujetos estudiaron palabras ya fuera leyendo palabras que se les presentaron o generando palabras en respuesta a una señal. Tanto en la tarea de LECTURA como en la de GENERACIÓN, las palabras se procesaron según su significado (sinónimos) o su fonología (rima). Como se muestra en el gráfico, la probabilidad de recordar más tarde las palabras estudiadas se vio facilitada tanto por la generación como por un nivel de procesamiento más profundo (sinónimo por oposición a rima, que era apropiado para el tipo de prueba).

(Slamecka, N. J. y Graf, P. The generation effect: Delineation of a phenomenon, *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 4* (1977): Fig. 2, p. 595 (modificada) de Exp. 2. De: Anderson, John R., *Cognitive Psychology and its Implications* (4.ª ed.). W. H. Freeman and Company, New York, 1995, p. 192. Copyright © 1978 American Psychological Association. Modificado con autorización.)

**siva**; la segunda, en la que los intentos con el mismo estímulo están separados por otros estímulos, se denomina **práctica distribuida**. ¿Cuál de las dos es más eficaz para aprender?

El psicólogo alemán Hermann Ebbinghaus (1850-1909), cuyo trabajo estableció las bases de la investigación experimental moderna de los procesos mentales, en particular de la memoria, fue el primero en estudiar los efectos de la práctica masiva frente a la distribuida (Ebbinghaus, 1885/1964). En sus experimentos pioneros, pensó en sílabas sin significado formadas por consonante-vocal-consonante (tales como WUG, PEV, RIC) y utilizó la práctica masiva de aprendizaje para algunos elementos y la práctica distribuida para otros. Un examen posterior de su memoria puso de manifiesto un **efecto de espaciamiento**; esto es, tal y como lo describió Ebbinghaus: «es indudablemente más ventajoso utilizar, con una serie considerable de repeticiones, una distribución conveniente de ellas en un espacio de tiempo que amontonarlas en una única ocasión». (p. 89). Así pues, unas palabras destinadas a los juiciosos: para una codificación más efectiva, utilice una práctica distribuida.

Hay una serie de razones que justifican el efecto de espaciamiento. Una, obvia, es que cuando los intentos de estudio se agrupan todos juntos, es menos probable que atendamos totalmente a cada presentación. Más bien, a medida que se suceden las presentaciones es más probable que creamos que hemos aprendido el elemento de estudio y por lo tanto le dediquemos cada vez menos atención. Por otra parte, cuando se espacian los intentos, es probable que el contexto en el cual se procesa el estímulo haya cambiado en mayor grado que en la práctica masiva. El resultado es una representación de memoria más rica y rutas de recuperación adicionales hacia la memoria.

Esto es, es probable que sean muy similares el procesamiento realizado en el conocimiento inicial del estímulo y en los ensayos repetidos en la práctica masiva. Por otra parte, la práctica distribuida fomenta una mayor **variabilidad de codificación**, la codificación de diferentes aspectos de un estímulo cuando se seleccionan diferentes características para codificarlo en ocasiones posteriores. Es más probable que se recuerde un estímulo cuando se procesa de distintas formas en los diversos ensayos del estudio.

## 2.4. Codificación episódica, ligamiento y lóbulo temporal medial

Codificar la información convirtiéndola en memoria episódica implica atención y elaboración, funciones que se localizan en los lóbulos frontales. La lesión de los lóbulos frontales por lo general perjudica a la memoria episódica (Shimamura, 1995), debido a que estos procesos cognitivos resultan afectados. Sin embargo, dichas alteraciones son moderadas en comparación con las que produce una lesión de los lóbulos temporales mediales, como la que sufría H. M. Los pacientes con una amnesia profunda, como H. M., están como «atrapados en el tiempo» debido a que son incapaces de establecer nuevas memorias episódicas.

El rasgo distintivo de la codificación episódica es ligar las diversas características de un estímulo o acontecimiento formando una representación de memoria integral (Tulving, 1983). La primera vez que nos encontramos con las personas que luego vimos en el vestíbulo, codificamos varias características de cada una de ellas (más o menos satisfactoriamente, debido a las razones que hemos discutido). Aspectos perceptivos de la apariencia visual y sonido de la voz, el contexto espacial y temporal, la codificación fonológica de los nombres y la semántica de nuestra conversación: todo ello lo procesa una red neural distinta del cerebro. Pero del mismo modo que la percepción de una manzana requiere ligar características dispares (color verde, forma redondeada, olor penetrante), la memoria de una experiencia vital requiere ligar los elementos dispares que la constituyen: la gente y las cosas que conocemos, el lugar y el momento en que las conocemos, nuestros pensamientos durante ello. Y aquí está la clave del problema: ¿cómo ocurre este ligamiento?

La respuesta está, literalmente, en el lóbulo temporal medial, el área que se extirpó a H. M. en la intervención neuroquirúrgica. (Squire *et al.,* 2004). Se ha demostrado que esta región es una zona de convergencia (concepto discutido en el Capítulo 4), es decir, una región que recibe desde muchas áreas del cerebro un *input* muy procesado (Lavenex y Amaral, 2000; Suzuki y Amaral, 1994) (Figura 5-9). Informaciones referentes a una cara, un nombre y el contexto convergen en el lóbulo temporal medial y esta región —en particular, el hipocampo— liga esas múltiples características en una representación de memoria integral. (Figura 5-10). La actividad del lóbulo frontal implicada en la atención y la elaboración modula la codificación, favoreciendo el procesamiento de determinadas características, mejorando su *input* al lóbulo temporal medial y aumentando así la probabilidad de que dichas características se integren formando una representación de memoria episódica. Pero este ligamiento ya no puede ocurrir en el cerebro de H. M., quien ha perdido la capacidad de establecer memorias episódicas.

La amnesia anterógrada que se manifiesta tras una lesión bilateral del lóbulo temporal medial proporciona una prueba concluyente de que esta región es necesaria

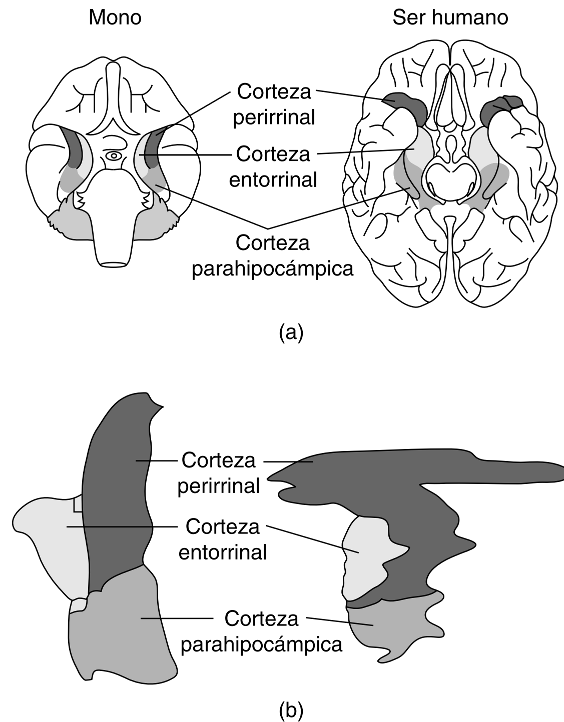



**FIGURA 5-9** Sistema de memoria del lóbulo temporal medial

(a) Vistas ventrales (esto es, vistas desde abajo a arriba) del cerebro del mono y del ser humano en las que se marcan los límites entre la corteza entorrinal, la perirrinal y la parahipocámpica.
(De R. D. Burwell, W. A. Suzuki, R. Insausti y D. G. Amaral. Some observations in the perirhinal and parahippocampal cortices in the rat, monkey and human brains. En *Perception, Memory and Emotion: Frontiers in Neuroscience*, editado por T. Ono, B. L. McNaughton, S. Molotchnikoff, E. T. Rolls and Hishijo. Elsevier UK , 1996, 95-110, Fig. 1. Reimpreso con autorización de Elsevier.)
(b) Mapas bidimensionales desplegados de estas áreas corticales, que, junto con la formación hipocámpica, constituyen el sistema de memoria del lóbulo temporal medial, del cual depende la memoria declarativa. (El cerebro no está dibujado a escala). Se piensa que las vías de entrada y salida del sistema de memoria del lóbulo temporal medial juegan un papel importante en el paso de la percepción a la memoria.
(De Squire, L. R. y E. R. Kandel. *Memory: From Mind to Molecules*, p. 111. Publicado originalmente en Squire, L. R., Lindenlaub, E., *The Biology of Memory*. Stuttgart, New York: Schattauer, 1990; 648. Reimpreso con autorización).

para la memoria episódica. Las lesiones unilaterales del lóbulo temporal medial producen asimismo una pérdida de memoria episódica, aunque menos intensa. Los estudios comportamentales de pacientes con una lesión unilateral indican que existen diferencias hemisféricas en cuanto a la función del lóbulo temporal medial: las lesiones del hipocampo derecho dan lugar a alteraciones más pronunciadas de la memoria episódica no verbal, mientras que las lesiones del hipocampo izquierdo provocan alteraciones más pronunciadas de la memoria episódica verbal (Milner, 1972). Los estudios de neuroimagen de la activación del lóbulo temporal medial en personas sin enfermedad neurológica han aportado evidencias convergentes: la activación del hipocampo derecho es mayor durante la codificación de rostros no conocidos, mientras que la activación del hipocampo izquierdo lo es durante la codificación de palabras (véase la Figura 5-11, en el Inserto a color D) (Kelley *et al.,* 1998; Powell *et al.,* 2005). Aunque estas conclusiones están bien comprobadas, ha de hacerse hincapié en que las representaciones mentales verbales y no verbales se ligan finalmente en los lóbulos temporales mediales, quizá en parte mediante interacciones cruzadas entre hemisferios.

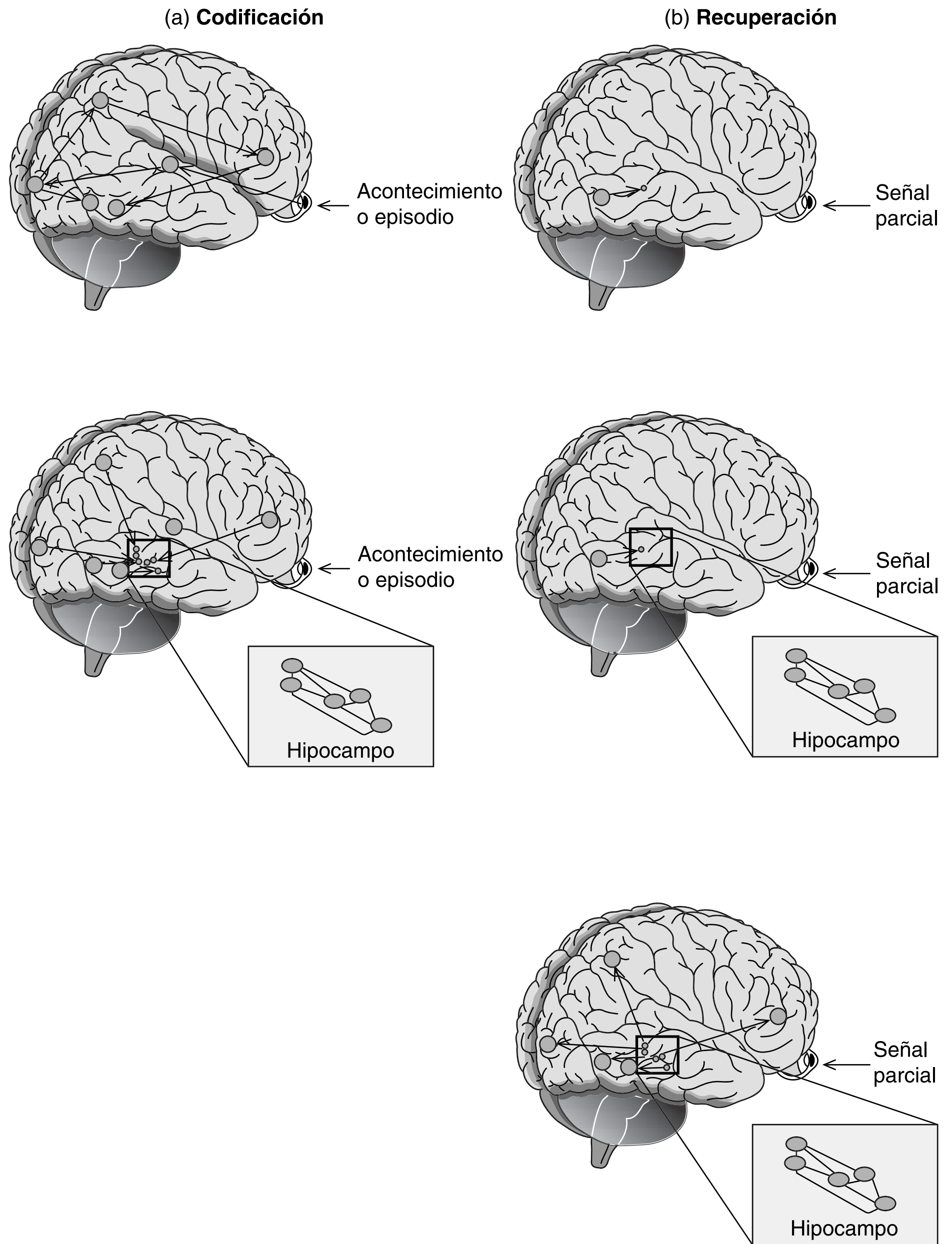



**FIGURA 5-10** Cómo contribuye el lóbulo temporal medial a la codificación episódica y a la recuperación

(a) Durante la codificación se procesan aspectos del estímulo o del acontecimiento en diferentes áreas de procesamiento corticales de regiones laterales (arriba). Estos elementos de información convergen en neuronas del hipocampo, y las neuronas del hipocampo activadas se ligan entre sí (*abajo*).
(b) Durante la recuperación de la información, habitualmente las señales retienen información parcial sobre un estímulo o acontecimiento pasado (*arriba*). Cuando esta información parcial converge en el lóbulo temporal medial, puede desencadenar la conclusión del modelo en el hipocampo (*centro*). Se considera que este proceso del lóbulo temporal medial lleva a la reactivación de la información en las regiones laterales de la corteza (*abajo*).

### 2.5. Consolidación: fijación de la memoria

Las memorias episódicas codificadas experimentan **consolidación**, un proceso que las modifica de modo que con el tiempo se vuelven más estables y al final existen independientemente de los lóbulos temporales mediales. La prueba de la consolidación procede de la observación de que la amnesia retrógrada de H. M., y de otros pacientes con amnesia, tiene un gradiente temporal: después de la extirpación de los lóbulos temporales mediales, H. M. aún podía tener recuerdos de la infancia, pero tenía dificultades para recordar acontecimientos que habían ocurrido durante los años inmediatamente anteriores a la operación. La conservación de su memoria episódica remota implica que las memorias más antiguas no se almacenan en los lóbulos temporales mediales —de otro modo, se hubieran perdido después de la lesión temporal medial—. En lugar de ello, se piensa que las interacciones entre el lóbulo temporal medial y varias regiones corticales laterales, almacenan memorias fuera de los lóbulos temporales mediales formando lentamente conexiones directas entre las representaciones corticales de la experiencia (obviando así la necesidad de las representaciones ligadas en el lóbulo temporal medial). Una hipótesis es que la consolidación de la memoria en la corteza cerebral ocurre mediante un proceso de reinstauración o repetición, en el cual durante el sueño y durante el recuerdo, el lóbulo temporal medial repite la pauta de activación existente durante el aprendizaje, con lo que se refuerzan las conexiones directas entre las regiones corticales laterales pertinentes (McClelland *et al.*, 1995; Wilson y McNaughton, 1994). Así pues, los lóbulos temporales mediales se requieren para recuperar las memorias no consolidadas pero, una vez que se consolidan, las memorias se pueden recuperar directamente de las regiones laterales corticales (McGaugh, 2000; Squire, 1992).



*Control de comprensión*



1. ¿Cuáles son los principales factores que afectan a la eficacia de la codificación?
2. ¿Qué papel juega el lóbulo temporal medial en la codificación y la consolidación?

## 3 Recuperación: cómo se recuerda el pasado a partir de la memoria episódica

Nuestras reminiscencias individuales de tiempos pasados dependen de la recuperación episódica, proceso mediante el cual se reactivan las huellas de memoria almacenadas. Es el fenómeno de recuperación el que produce la experiencia subjetiva de recordar conscientemente el pasado. La recuperación episódica depende de procesos del lóbulo temporal medial que sustentan la conclusión de modelos y de procesos del lóbulo frontal que sustentan los mecanismos de recuperación estratégica.

### 3.1. Conclusión de modelos y recapitulación

La recuperación episódica es un eficaz fenómeno cognitivo que transforma nuestro estado mental actual, de modo que el presente contacta con él y reinstaura aspectos del

pasado. Antes de que viéramos de forma imprevista a aquellas personas en el vestíbulo, es perfectamente probable que no estuviéramos pensando en ninguna de ellas. Por razones que hemos discutido, no recordábamos muy bien a una de ellas. Pero sólo con ver el rostro de la otra persona, nuestro estado mental cambió. Ver su rostro fue una *señal* que desencadenó una cascada de procesos que trajeron de vuelta a la mente multitud de detalles del primer encuentro. Por otra parte, éramos conscientes de que esos detalles recuperados correspondían a un momento en particular de nuestro pasado. En definitiva, era como si esta recuperación episódica nos hubiera enviado de vuelta al pasado, a un momento anterior de nuestra vida (Tulving, 1983).

¿Cómo sirve una clave de recuperación —por ejemplo, el aspecto de un rostro— para recuperar detalles del pasado? Las memorias episódicas se codifican ligando las diversas características de un estímulo o un acontecimiento en una representación integral, de modo que una memoria episódica consiste en una combinación de características relacionadas. ¿Por qué es tan importante la recuperación? Por dos razones: (1) porque cualquiera de esas características es una posible vía hacia la memoria, lo que multiplica las «entradas» al recuerdo y (2) porque significa que tenemos acceso a nuestras memorias incluso si tenemos una cantidad limitada de información. Cuando una clave de recuperación que corresponde a parte de la información codificada, como ver un rostro concreto, se aloja en la representación almacenada, otras características ligadas a la representación —un nombre, el letrero de un restaurante, una conversación— vuelven a activarse (véase la Figura 5-10). Ya que es así como se construye un todo a partir de la relación entre sus partes, este proceso se conoce como **conclusión de modelos** (McClelland *et al.,* 1995; Nakazawa *et al.,* 2002).

Quizá no sorprendentemente, en vista de su papel en la integración de características, los lóbulos temporales mediales intervienen decisivamente en la conclusión de modelos (al menos, en el caso de las memorias no consolidadas). Las memorias episódicas no consolidadas se almacenan, al menos en parte, en los lóbulos temporales mediales, y la recuperación de estas memorias depende de la función del circuito del lóbulo temporal medial. Los estudios de neuroimagen en seres humanos sin trastornos neurológicos han aportado pruebas de que los lóbulos temporales mediales participan en la recuperación episódica. Por ejemplo, se ha demostrado que el hipocampo está activo durante los intentos de recuperación que desembocan en una adecuada recuperación del contexto o de los detalles de un acontecimiento, pero no así durante los intentos que desembocan en un fallo de recuperación (Eldridge *et al.,* 2000).

La idea de que la recuperación episódica depende de la conclusión de modelos ha llevado a otra hipótesis; la de que la recuperación entraña **recapitulación**, una reinstauración de la pauta de activación que existió durante la codificación. En la recapitulación, la dirección del procesamiento de la información entre las regiones laterales de la corteza cerebral (donde se procesan tipos dispares de información) y el hipocampo (donde esta información se integra) sigue el camino inverso. Durante la codificación, el procesamiento cortical suministra *inputs* al hipocampo, el cual liga estos *inputs* formando una memoria integral. En la recuperación, una clave parcial enviada al hipocampo provoca la conclusión del modelo y el hipocampo proyecta de vuelta a las áreas corticales y representa de nuevo la pauta de activación que se dio durante la codificación (ver Figura 5-10). (Esto es similar a la noción de simulación revisada en el Capítulo 4).

La hipótesis de conclusión de modelos y la de recapitulación hacen dos previsiones: primera, si la conclusión de modelos tiene lugar en el lóbulo temporal medial y sirve para repetir pautas de activación, volviéndolas a dirigir a las regiones laterales

de la corteza cerebral, entonces la activación durante la recuperación del lóbulo temporal medial debería preceder a la recuperación del conocimiento episódico. Estas señales de recuperación en las neuronas corticales de las regiones laterales que preceden a la recuperación del conocimiento se han observado en primates no humanos (Naya *et al.*, 2001). Además se ha demostrado que las lesiones del lóbulo temporal medial en primates no humanos suprimen la recuperación del conocimiento en la corteza, lo que indica que los procesos que ocurren en la región temporal medial preceden a las representaciones corticales y son necesarios para que éstas se reactiven (Higuchi y Miyashita, 1996).

La segunda previsión es que, si de hecho la recuperación episódica conlleva la recapitulación de representaciones que existían durante la codificación, la pauta de activación cortical durante la recuperación debería parecerse a la observada en el momento de la codificación. Los estudios de neuroimagen realizados con sujetos humanos han encontrado pautas de activación durante la codificación de dibujos y de sonidos en la corteza de asociación visual y auditiva sorprendentemente parecidos a los observados durante la recuperación de dichos episodios (véase la Figura 5-12 en el Inserto a color E) (Nyberg *et al.,* 2000; Wheeler *et al.,* 2000). Parece claro que la recuperación entraña repetición de los modelos de codificación. Sin embargo, por lo general, lo que se repite no es una copia *idéntica* de la información que estaba presente durante la codificación; la memoria, como todos hemos tenido ocasión de saber, está sujeta a distorsión.

## 3.2. Recuperación episódica y lóbulos frontales

La recuperación episódica implica una interacción compleja entre los lóbulos temporales mediales y otras regiones corticales (Johnson *et al.,* 1997; Shimamura, 1995); un número considerable de datos señalan la importancia de los lóbulos frontales. En primates no humanos, la desconexión entre los lóbulos frontales y las estructuras cerebrales posteriores causa una disminución de la capacidad de recuperar la información asociada con una clave de recuperación (Tomita *et al.,* 1999). De modo parecido, los pacientes humanos con una lesión en el lóbulo frontal tienen dificultades en particular para recordar detalles de acontecimientos personales anteriores (Janowsky et al 1989; Schacter *et al.,* 1984). Por ejemplo, a los pacientes frontales les cuesta recordar quién les ha enseñado un hecho nuevo, aunque pueden recordar el hecho en sí mismo, lo que refleja un problema específico para recordar el contexto. (Esta alteración se denomina *amnesia de fuente*.) Coincidiendo con estos hallazgos, los estudios de neuroimagen de personas sin enfermedad neurológica han puesto de manifiesto que cuando se les pide a los sujetos que recuperen memorias episódicas se activan una serie de áreas del lóbulo frontal (Buckner y Wheeler, 2001; Fletcher y Henson, 2001; Nolde *et al.,* 1998; Nyberg et al, 1996; Wagner, 2002).

Los lóbulos frontales juegan un papel importante en la elaboración de un plan de recuperación, lo que requiere seleccionar y representar las claves que se van a utilizar para sondear la memoria. Además, cuando intentamos recordar detalles de una experiencia pasada se activan las regiones frontales del hemisferio izquierdo asociadas con la elaboración semántica (Dobbins *et al.,* 2002). Esta pauta sugiere que ampliamos las claves de recuperación, generando así claves adicionales que podrían desencadenar la conclusión de modelos. Los lóbulos frontales también albergan mecanismos que resuelven la competición o interferencia entre memorias que compiten (cuando se recupera más de una memoria a partir de una sola clave y las memorias compiten por ser

recuperadas completamente). La interferencia durante la recuperación es una causa significativa de olvido; los estudios de pacientes con lesiones frontales indican que dichos pacientes son particularmente propensos al olvido por interferencia (Shimamura, 1995). Por último, los lóbulos frontales son importantes para evaluar o supervisar la información recuperada, permitiendo decisiones basadas en la cantidad y calidad de lo que se ha recordado (Rugg y Wilding, 2000).

## 3.3. Claves para la recuperación

Como en el caso de la investigación de la codificación, los investigadores han conseguido avanzar en el conocimiento de los mecanismos que subyacen a la recuperación episódica al prestar atención a los factores que en ocasiones se encuentran presentes cuando la recuperación se realiza con éxito. Una de las conclusiones fundamentales alcanzadas con este enfoque es que la recuperación **depende de la clave**, esto es, que la recuperación se estimula por pistas y claves procedentes del medio externo y del interno —del estado del entorno y de nuestro propio estado—. Cuando no se dispone de claves o no se utilizan, es menos probable que los intentos de recuperación den lugar a la conclusión de los modelos. En muchas ocasiones, el olvido ocurre no porque la información que se buscaba se haya borrado de la memoria, sino porque las claves que se han utilizado para explorar la memoria no son eficaces.

El contexto aporta claves de recuperación especialmente sólidas, un fenómeno que es posible que hayamos experimentado al visitar nuestro antiguo colegio, al volver a la habitación que tuvimos de pequeños en los viejos tiempos o al tomar un bocado en el bar que fue una guarida en los tiempos universitarios. Los recuerdos que se producen así son más fuertes y más detallados en dichas circunstancias que cuando simplemente se rememora sin claves. Este fenómeno revela que en la recuperación se da un **efecto dependiente del contexto**: la recuperación es generalmente mejor cuando el entorno físico en que se da coincide con el que hubo durante la codificación (esto es similar al principio de especificidad de codificación). En un experimento particularmente creativo, se demostró la dependencia del contexto que tiene la recuperación presentando listas de palabras a cuatro grupos de buceadores de profundidad y examinando su grado de recuerdo (Godden y Baddeley, 1975). Un grupo codificó y recuperó las palabras en la orilla, otro mientras estaban bajo el agua. El tercer y cuarto grupos las codificaron y recuperaron en diferentes contextos (estudiaron la lista en la orilla y la recuperaron bajo el agua o al revés). Los grupos que habían codificado y recuperado en el mismo contexto físico lograron la mejor recuperación (Figura 5-13).

Así pues, los efectos dependientes del contexto no sólo apoyan la idea de que la recuperación depende de las claves, sino que también revelan otra importante característica de la memoria episódica: cuando se codifica un estímulo o acontecimiento, las características del entorno físico habitualmente se ligan formando la representación de memoria episódica resultante, aportando así otra ruta para recordar. Si estas características se encuentran en el entorno en el momento de la recuperación, sirven como claves adicionales para el recuerdo y aumentan la probabilidad de recuperar otros detalles de la experiencia. Igualmente, aspectos de nuestro estado interno, por ejemplo, cuando se está afectado por alguna droga o un determinado estado de ánimo, se codifican también en la memoria y proporcionan claves importantes durante la recuperación. Las investigaciones han demostrado que existen **efectos dependientes del estado** —la recuperación es mejor cuando el estado interno durante ella coincide con el

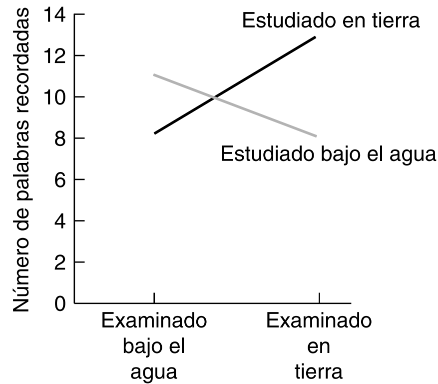



**FIGURA 5-13** Evidencia de memoria dependiente del contexto

En una prueba con buceadores de profundidad, se halló que en el promedio de palabras recordadas influía el hecho de que coincidieran el estudio y el contexto en que se realizaba la prueba. El rendimiento fue mejor cuando las palabras se recordaron en el mismo contexto en el que se habían aprendido.

(Datos de Godden, D. R. y Bradley, A. D. (1975). Context-dependent memory in two natural environments: On land and under water. *British Journal of Psychology, 66*: 325-331. Reimpreso con autorización de Elsevier.)

que se dio durante la codificación—, los cuales son análogos a los efectos dependientes del contexto. Por ejemplo, Eich y sus colaboradores (1975) demostraron que los sujetos que aprendieron una lista de palabras después de haber fumado mariguana, recordaban mejor la lista de nombres si volvían a fumar justo antes de la recuperación. Y, si el aprendizaje se realizaba sin mariguana, la recuperación era también mejor sin ella. Al igual que las características ambientales externas, los estados internos facilitan la recuperación cuando el estado interno en el momento de la recuperación se asemeja al que se codificó en la memoria en el momento en que se conoció el estímulo o el acontecimiento. (Los sujetos que no fumaron mariguana ni durante la codificación ni durante la recuperación consiguieron el mejor resultado de todos los grupos: tanto la codificación como la recuperación resultan afectadas si estamos «colocados»).

## 3.4. Segunda vuelta: reconocer los estímulos mediante recuerdo y familiaridad

Una función básica de la memoria es permitirle a un organismo distinguir entre los estímulos nuevos y aquellos otros que ha conocido antes. La capacidad de reconocer personas, objetos y lugares se puede basar en dos procesos: el *recuerdo*, la evocación consciente del contexto específico y de detalles del acontecimiento del momento anterior en que se conoció el estímulo; y la *familiaridad*, la sensación subjetiva (e inespecífica) de haber conocido antes un estímulo.

La distinción entre recuerdo y familiaridad puede apreciarse en la experiencia que tuvimos con esas dos personas que nos encontramos en el vestíbulo. Recordábamos con claridad a una de ellas y recuperamos conscientemente detalles de nuestro encuentro anterior. Por otro lado, no dudamos de nuestra impresión de haber conocido antes a la segunda persona pero fuimos incapaces de recordar nada sobre la misma. En el primer caso, el reconocimiento se basó en el recuerdo; en el segundo, en la familiaridad sin que hubiera recuerdo. Las **teorías del doble proceso** en el reconocimiento sostienen que éste puede basarse tanto en el recuerdo como en la familiaridad.

Se piensa que el recuerdo depende de los mismos mecanismos de conclusión de modelos que permiten la evocación de detalles episódicos asociados con una clave de recuperación. La familiaridad, a su vez, se piensa que surge de un proceso diferente, uno que tiene en cuenta, no el detalle, sino el parecido en general. Un estímulo se coteja con la información en la memoria; si se da un emparejamiento o una superposición suficiente, podemos decir «*sé* que te he visto antes» sin tener que referirnos a un detalle específico.

La investigación comportamental ha aportado datos convincentes de que el recuerdo y la familiaridad son procesos de memoria distintos, con distintos modos de operación (Yonelinas, 2002). Por ejemplo, el recuerdo es un proceso más lento que la familiaridad y, por tanto, cuando tenemos que hacer una decisión de reconocimiento muy rápidamente dependemos más de evaluar la familiaridad de un estímulo y menos del recuerdo, ya que el conocimiento recordado suele llegar demasiado tarde como para basar nuestra decisión en ello (Hintzman y Curran, 1994; Yonelinas y Jacoby, 1994). Asimismo, el recuerdo depende especialmente de la atención en el momento de la codificación y la recuperación: si la atención está dividida, la contribución del recuerdo a las decisiones de reconocimiento disminuye notablemente (Dodson y Johnson, 1996; Jacoby y Kelly, 1991).

¿Apoya la investigación neurológica las deducciones derivadas de la investigación comportamental?, ¿la familiaridad y el recuerdo se llevan a cabo de un modo diferente en el cerebro? Se sabe que el lóbulo temporal medial juega un papel decisivo en la memoria de reconocimiento, pero sigue discutiéndose si subregiones específicas contribuyen diferencialmente al recuerdo y la familiaridad (véase la Figura 5-9). Hay algunos datos, tanto de estudios con animales como con seres humanos, a favor de la hipótesis de que diferentes subregiones del lóbulo temporal medial median diferentes procesos de memoria (Brown y Aggleton, 2001). Por ejemplo, en el mono, las lesiones de la corteza perirrinal producen un deterioro más grave del rendimiento en tareas de reconocimiento de objetos que las lesiones del hipocampo (Murray y Mishkin, 1986; Zola-Morgan *et al.,* 1989). Por otra parte, las neuronas hipocámpicas señalizan preferentemente la memoria de asociación entre estímulos más que la de estímulos individuales, mientras las neuronas perirrinales señalizan preferentemente la familiaridad del estímulo (Brown *et al.,* 1987; Sobotka y Ringo, 1993). En los seres humanos, los estudios de ciertos pacientes que supuestamente tenían una lesión circunscrita al hipocampo han evidenciado dificultades de recuerdo que no guardan proporción con las de familiaridad (Holdstock *et al.,* 2002; Yonelinas *et al.,* 2002; cf. Wixted y Squire, 2004). Sin embargo, en estudios de otro grupo de pacientes con amnesia que tenían una lesión hipocámpica selectiva se observaron dificultades comparables de recuerdo y de familiaridad (Manns *et al.,* 2003a). No obstante, los pacientes humanos con lesiones hipocámpicas aisladas son poco frecuentes; otra línea de investigación es el estudio mediante neuroimagen de personas sin afectación neurológica. Los hallazgos iniciales de estos estudios apoyan la idea de que el recuerdo y la familiaridad dependen de forma diferencial de mecanismos de memoria hipocámpicos y perirrinales, respectivamente. (Véase el recuadro adjunto de *Debate*).

## 3.5. Recuerdos falsos del pasado

Solemos creer que hemos logrado recuperar la información cuando podemos decir: «Si, por supuesto que lo recuerdo» (o incluso: «Sí, lo recuerdo con claridad») pero,

DEBATE

## «Acordarse», «conocer» y los lóbulos temporales mediales

La controversia que rodea a las contribuciones relativas del hipocampo y de la corteza perirrinal adyacente al recuerdo y a la familiaridad se ha explorado recientemente mediante estudios de neuroimagen de personas sin enfermedad neurológica. En un estudio, se examinaron las señales del hipocampo mientras los sujetos decidían si reconocían o no palabras que habían estudiado previamente (Eldridge *et al.,* 2000). Los investigadores determinaron el recuerdo y la familiaridad pidiendo a los sujetos que describieran en qué se basaban para tomar cada decisión. Se pidió a los sujetos que indicaran si cada una de estas decisiones se acompañaba del hecho de «acordarse», recordar conscientemente detalles concretos relativos a un conocimiento anterior del estímulo, o del hecho de «conocerlo», la sensación certera de que un estímulo es familiar pero no se es capaz de recordar detalles de ese conocimiento anterior. Resultado importante: la activación del hipocampo se observó en el caso de «acordarse», pero no en el de «conocerlo» o haberlo olvidado (definido esto último como la incapacidad de reconocer un elemento que se ha conocido previamente). Esta pauta sugiere que el hipocampo puede favorecer selectivamente al recuerdo (véase también, Yonelinas *et al.,* 2005)

Otro enfoque de los estudios de neuroimagen es registrar la activación hipocámpica y perirrinal durante la codificación y examinar la memoria posterior con el fin de determinar si las señales neurales de codificación predicen de modo diferencial si el reconocimiento se basará en el recuerdo o en la familiaridad. Un estudio que empleó esta estrategia investigó las relaciones entre la activación hipocámpica y la perirrinal durante la codificación y la capacidad para (1) reconocer más tarde un estímulo como conocido anteriormente (un índice de la familiaridad del estímulo) y (2) recordar más tarde detalles contextuales específicos relativos al momento previo en que se conoció el estímulo (un índice de recuerdo) (Davachi *et al.,* 2003). Los datos de RMf de esta investigación pusieron de manifiesto que la activación del hipocampo durante la codificación predecía el hecho de recordarlo más tarde, pero no se relacionaba con el hecho de reconocerlo como familiar más tarde. Por el contrario, la activación de la corteza perirrinal durante la codificación predecía que más tarde se reconociera el estímulo, pero no que se recordara. Estos resultados sugieren que el hipocampo y la corteza perirrinal prestan servicio a mecanismos de codificación complementarios que construyen representaciones que sustentan el recuerdo y la familiaridad posterior, respectivamente (véase también, Ranganath *et al.,* 2004; Kirwan y Stark, 2004). Parece ser que este debate se resolverá finalmente gracias a futuras investigaciones de neuroimagen y a estudios de seguimiento de pacientes humanos y de animales con lesiones en estructuras específicas de los lóbulos temporales mediales (Véanse las Figuras en el Inserto a color F y G).

¿lo que recordamos es un fiel reflejo de acontecimientos pasados, o es algo distorsionado e incluso ilusorio? Casi un siglo de investigación comportamental indica que el hecho de recordar frecuentemente no es perfecto y sugiere el porqué. En ocasiones los recuerdos están distorsionados para encajar con nuestras expectativas y a veces «recordamos» sucesos que nunca han ocurrido. Investigar a nivel neural las semejanzas y diferencias entre los recuerdos fieles y los engañosos nos proporciona más conocimientos sobre el funcionamiento de la memoria. Schacter (2001; Buckner y Schacter, 2005) argumenta que existen numerosas formas de errores de memoria, entre los que se incluyen el *sesgo*, la *atribución errónea* y la *sugestión*.

### 3.5.1. Sesgo

El análisis experimental de las distorsiones de la memoria comenzó con el trabajo del psicólogo británico Frederic Bartlett. En un estudio realizado en los años treinta, Bartlett pidió a sujetos ingleses que leyeran y luego relataran historias complejas sobre el folklore de otras culturas. Observó que con frecuencia los sujetos recordaban mal las historias de determinadas formas: las acortaban de manera evidente, suprimían las interpretaciones extrañas y hacían las historias más coherentes y convencionales se-

gún la tradición en la forma de contar las cosas de su propia cultura. Con un enfoque similar, Sulin y Dooling (1974) hicieron que los sujetos de su estudio leyeran un corto pasaje sobre una chica joven, violenta e indisciplinada; a algunos sujetos se les dijo que el pasaje se refería a «Hellen Keller», a otros que la chica era «Carol Harris». En ninguna parte del pasaje se decía «era sorda, muda y ciega». Cuando, una semana más tarde, se comprobó el recuerdo que se tenía de la historia y se les preguntó a los sujetos si esas palabras figuraban en el pasaje, la mitad de los sujetos a los que se había dicho que la historia se refería a «Hellen Keller» dijo que sí (por contraposición al 5 por ciento de aquellos a los que se había dicho que la historia se refería a «Carol Harris»). Estas distorsiones y errores de la memoria sugieren que la experiencia cultural y otros conocimientos de base influyen en nuestras memorias de estímulos y acontecimientos.

Esta forma de distorsión de la memoria se debe al *sesgo*, la inclinación hacia una conclusión que no se justifica por la lógica o por el conocimiento. En el **sesgo de creencia,** como el que se observó en el estudio que acabamos de mencionar, el conocimiento de base acerca de las costumbres en el mundo y las creencias personales, influyen de modo no consciente en la memoria para rehacerla de forma que sea coherente con las expectativas.

El sesgo puede operar retrospectivamente, al igual que durante la codificación. Por ejemplo, en un estudio (Markus, 1986) se les pidió a los sujetos en 1973 que describieran sus opiniones en relación con la igualdad de las mujeres y la legalización de la mariguana (y sobre otros asuntos sociales). Una década más tarde, en 1982, se les pidió a los mismos sujetos que calificaran sus opiniones *actuales* y también que intentaran recordar las opiniones que tenían en 1973. ¿El resultado? Los recuerdos de sus opiniones de 1973 fueron más similares a sus creencias de 1982 que las creencias que de hecho habían expresado una década antes; y al parecer creían sinceramente que habían pensado siempre de ese modo. En las relaciones personales se han observado **sesgos de consistencia** similares, sesgos que se deben a la creencia, con frecuencia errónea, de que las propias opiniones permanecen estables con el paso del tiempo: el recuerdo del grado inicial de felicidad proporcionada por una determinada relación por lo general está distorsionado por la opinión sobre el grado de felicidad en la actualidad (Kirkpatrick y Hazan, 1994; McFarland y Ross, 1987). Se ha argumentado que sesgos de este tipo ocurren, en parte, porque las personas tienden a creer que sus actitudes permanecen estables a lo largo del tiempo y, por lo tanto, los recuerdos se ajustan de modo no consciente para hacer coincidir el pasado con el presente (Ross, 1989).

Una implicación importante de las distorsiones de la memoria debidas al sesgo es que la recuperación a menudo es un proceso de reconstrucción —lo que recuperamos no es siempre una repetición rigurosa de lo que sucedió en la codificación—. En la **memoria de reconstrucción,** reconstruimos el pasado más que reproducirlo. A menudo experimentamos memorias de reconstrucción cuando nuestros recuerdos del acontecimiento no son claros; en tales casos podemos inferir cómo «han debido de ser» las cosas basándonos en nuestros pensamientos y expectativas actuales.

### 3.5.2. Atribución errónea

He aquí una lista de 15 palabras asociadas: *golosina, agrio, azúcar, amargo, bueno, gusto, diente, bonito, miel, gaseosa, chocolate, corazón, carta, comer, pastel* (Deese, 1959; Roediger y McDermott, 1995).

Sin volver a mirar la lista, responda el lector a las siguientes preguntas: ¿estaba la palabra *gusto* en la lista?, ¿y la palabra *dulce*? La palabra *gusto* lo estaba y un promedio del 86% de los sujetos así lo dijo. La palabra *dulce* no figuraba en la lista —pero un promedio del 84% de los sujetos dijo que sí—. (La frecuencia de falso reconocimiento para palabras no relacionadas, como *punto*, es de un 20%.) ¿Qué ocurre aquí, más allá de la demostración de que es posible recordar algo que nunca ha ocurrido?

El falso reconocimiento ocurre a menudo cuando un estímulo nuevo es similar a estímulos que se han conocido previamente. Una hipótesis es que, en el ejemplo de la lista de palabras, el hecho de ver cada palabra activa palabras relacionadas y estas palabras relacionadas acuden espontáneamente a la mente, codificándose también. Luego, en la recuperación, el recuerdo de haber *pensado* en la palabra relacionada se confunde con el recuerdo de haber *visto* la palabra. Este es un ejemplo de **atribución errónea,** adscribir un recuerdo a un tiempo, lugar, persona o fuente erróneas (Schacter, 2001). Los sujetos que dijeron que la palabra *dulce* estaba en la lista atribuyeron erróneamente información que habían generado ellos mismos (sus ideas acerca de la palabra) a una fuente externa (la lista que se había presentado).

En particular, el falso reconocimiento tiene lugar cuando conocemos un estímulo que, pese a no haberlo conocido antes, es semántica o perceptivamente similar a estímulos previamente conocidos (Koutstaal *et al.,* 1999). En el ejemplo de la lista de palabras, *dulce* tiene semejanza semántica con las palabras de la lista. En dichas circunstancias, dado que el estímulo es coherente con lo esencial de nuestras pasadas experiencias, puede producir un falso recuerdo o una falsa sensación de familiaridad, llevándonos a creer que habíamos conocido el estímulo aun cuando no sea así. En definitiva, a los mismos mecanismos que nos permiten recordar con exactitud estímulos que hemos conocido antes se les puede «engañar» para que señalicen recuerdo de un estímulo nuevo cuando es similar a los estímulos conocidos.

Los estudios neuropsicológicos indican que los pacientes con amnesia presentan niveles más bajos de falso reconocimiento que personas sin enfermedad neurológica (Koutstaal *et al.*, 2001). Este hallazgo sugiere que las estructuras del lóbulo temporal medial en las que se basa la memoria episódica acertada participan también en el almacenamiento y recuperación de información que lleva al falso reconocimiento. Los estudios de neuroimagen han puesto de manifiesto que el hipocampo está igualmente activado durante el reconocimiento correcto de palabras estudiadas con anterioridad y el falso reconocimiento de palabras relacionadas. No obstante, algunos estudios sugieren que el reconocimiento correcto y el falso reconocimiento activan procesos perceptivos diferentes, un indicio de que existen sutiles, pero quizá importantes, diferencias en el nivel de repetición perceptiva que subyace a los recuerdos verdaderos y a los falsos (Slotnick y Schacter, 2004).

### 3.5.3. Sugestión

Los falsos recuerdos pueden embarrar las aguas de las investigaciones criminales, y los testimonios ante los tribunales que se basan en un error de la memoria de un testigo pueden conducir a una sentencia equivocada o una condena. Conscientes de que la fiabilidad de la memoria puede tener graves consecuencias sociales y políticas, los investigadores han intentado determinar si los falsos recuerdos se pueden inculcar al mismo tiempo que la recuperación mediante *sugestión*, en la que se presenta información falsa o engañosa después del acontecimiento o se induce mediante preguntas que

sugieren la respuesta que se quiere obtener («preguntas dirigidas») (Schacter, 2001; Loftus, 2005).

En el laboratorio se han inculcado recuerdos, haciendo a los sujetos preguntas dirigidas relacionadas con lo que habían visto en una presentación con diapositivas. En un experimento clásico, los sujetos vieron diapositivas de un accidente de coche y luego se les pidió que recordaran detalles particulares del incidente (Loftus *et al*; 1978). En las preguntas que se utilizaron para examinar la memoria de los sujetos se presentó información nueva —y falsa—. Por ejemplo, a algunos de los sujetos se les preguntó: ¿«Adelantó algún otro coche al *Datsun* rojo mientras estaba parado ante la señal de stop?», cuando, de hecho, en la presentación de diapositivas se veía que el coche se había parado en una señal de «ceda el paso». Al volver a examinar la memoria más tarde, los sujetos a los que se les había dado esta información errónea fueron más propensos a afirmar que habían visto el coche parado ante una señal de stop que aquellos a los que no se les había dado esta información engañosa.

¿Qué explica este **efecto de información errónea**, el cual produce un recuerdo equivocado de un acontecimiento original conforme a una información falsa? (Loftus, 2005). Una hipótesis es que al sugerir falsa información acerca de un acontecimiento anterior, la información errónea suministrada en la pregunta sirve para sobreescribir la información que se codificó durante el acontecimiento (Loftus *et al.,* 1978). En este enfoque, la información que estuvo una vez en la memoria se ve suplantada por la nueva información errónea. Otra alternativa es que la presentación posterior de información errónea puede conducir a una atribución errónea; es decir, aunque los detalles originales correctos permanecen en la memoria, cuando se sugieren los detalles falsos, la información errónea se codifica también en la memoria. Al examinarlo más tarde, podemos recordar la información correcta y la información errónea, pero no lograr recordar cuál corresponde al acontecimiento original y cuál fue presentada por quien preguntaba. Una tercera explicación es que, debido a que frecuentemente no podemos recordar detalles del pasado, estamos predispuestos a aceptar información errónea como si fuera correcta cuando nos la proporciona un interrogador, ya que, si no, tendríamos una laguna de memoria; es decir, si no podemos recordar si la señal de tráfico era un «stop» o un «ceda el paso», es probable que nos inclinemos a aceptar como exacta la información sugerida por el interrogador aunque no lo sea. (Esto es especialmente probable que suceda en el caso de que el interrogador sea una persona con autoridad, tal como un agente de policía). Las investigaciones realizadas acerca de estas alternativas indican que la información errónea distorsiona la memoria mediante una combinación de atribución errónea (esto es, fallando al recordar la fuente de información falsa) y la aceptación de la información errónea sugerida cuando la precisión del recuerdo es débil (Lindsay, 1990; McCloskey y Zaragoza, 1985).

En circunstancias especiales, podemos no sólo aceptar la información errónea sugerida como cierta, sino que podemos también «recordar» otros detalles que van más allá de lo sugerido por el interrogador (Loftus y Berstein, 2005). ¿Recordamos haber asistido a la celebración de una boda cuando éramos niños y haber derramado ponche sobre la madre de la novia? ¿No? Quizá lo haríamos si nos encontráramos con un entrevistador con experiencia. Los estudios comportamentales han demostrado que sugestiones repetidas sobre un acontecimiento que nunca tuvo lugar pueden inducir no sólo a aceptar el acontecimiento, sino que también pueden inducir detalles adicionales —totalmente imaginarios— (Hyman y Pentland, 1996; Hyman *et al.,* 1995). Parece ser que inducir a las personas a imaginarse experiencias que nunca les han

ocurrido, a veces puede llevarles a concluir que las representaciones de lo que han imaginado son verdaderamente recuerdos de acontecimientos reales. Los datos de neuroimagen apoyan esta conclusión: es más probable que afirmemos equivocadamente haber visto un objeto que sólo hemos imaginado cuando al imaginarnos por primera vez el objeto se produjo una intensa activación de las regiones cerebrales que median en la percepción de los objetos (Gonsalves y Paller, 2000).



### *Control de comprensión*



1. ¿Cuáles son los factores principales que afectan a la eficacia de la recuperación y cómo se recuperan los recuerdos en el cerebro?
2. ¿Cuáles son las maneras en que se puede distorsionar la memoria?

# 4 La codificación fue buena, pero aun así no puedo recordar

Noël Coward escribió acerca de un gran romance, «Lo que ha sido ha superado el olvido» Lamentablemente, esto no es cierto. Aunque los procesos de memoria están operando en cada momento del día, por lo general no somos conscientes del funcionamiento de la memoria hasta que el intento de recuperar algo se encuentra con un fallo —esto es, cuando olvidamos—.

**Olvidar** es la incapacidad de recordar o reconocer información codificada previamente. Aunque algunos casos de olvido se deben a una mala codificación inicial, en otros se debe a la falta de claves correctas en el momento correcto; muchos casos de olvido proceden de mecanismos posteriores a la codificación. Estos mecanismos interfieren la memoria, de modo que aun cuando la codificación haya sido eficaz y las señales apropiadas, los intentos de recordar pueden encontrarse con un fallo, como si se hubiera perdido la memoria.

## 4.1. La función del olvido según Ebbinhaus

En su clásico trabajo *Memoria* Hermann Ebbinghaus (1885/1964), examinó sistemáticamente cómo la memoria de estímulos y de acontecimientos codificados cambia según aumenta el **intervalo de retención** —el tiempo que transcurre entre la codificación y la recuperación—. Observó que su memoria de sílabas sin sentido ni significado disminuía cuando aumentaba el intervalo de retención (Figura 5-14). Estudios sucesivos durante décadas desde el informe de Ebbinghaus han replicado consistentemente este modelo. En la actualidad se piensa que el olvido sigue una ley de potencia, esto es, la tasa de olvido se aminora con el paso del tiempo: al principio es muy rápida y luego se estabiliza en un lento y prolongado declive a medida que aumenta el intervalo de retención (Wixted y Ebbesen, 1991).

Debido a que nuestra capacidad de recordar un estímulo o un acontecimiento disminuye sistemáticamente con el tiempo, las teorías iniciales defendían que el olvido se debe a un debilitamiento espontáneo de las representaciones de memoria con el paso

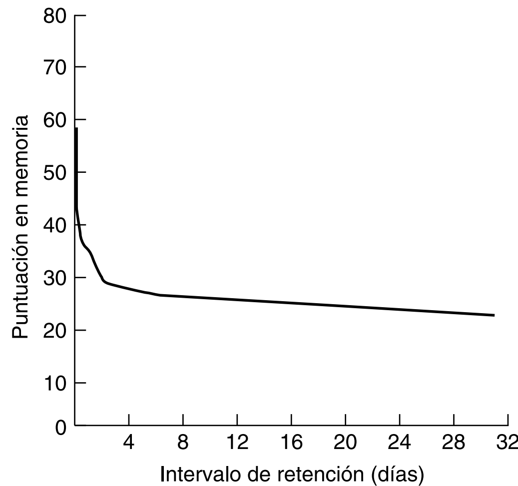



**FIGURA 5-14** Función del olvido según Ebbinghaus

A un olvido rápido inicial le sigue un declive lento y gradual.

(Datos de Ebbinghaus, Hermann. *Memory: A contribution to experimental psychology*. Dover Publications, Inc., New York, 1964. Reimpreso con autorización.)

del tiempo. Tales **teorías del declive** resultan atractivas porque son sencillas y porque son intuitivas. Pero no se mantienen; hay pocas pruebas claras a favor del declive. En efecto, hay quien ha argumentado que el tiempo, por sí mismo, no puede ser la respuesta —*algo tiene que ocurrir* (Lewandowsky *et al.,* 2004)—. Pensemos en unos pantalones vaqueros desteñidos. Los vaqueros no se destiñen espontáneamente sólo por haber estado por ahí durante un tiempo. El desteñido refleja una serie de mecanismos que ocurren a lo largo del tiempo, como pueden ser repetidas interacciones químicas con la luz y los detergentes. Así pues, es probable que ocurra algo similar con la memoria: el tiempo no puede operar directamente en las representaciones de memoria, las cuales son una consecuencia neurobiológica de experiencias previas. El olvido ha de deberse a algún mecanismo que actúa con el tiempo.

## 4.2. Olvido y competición

Numerosas pruebas indican que muchos casos de olvido se deben a interferencia. Las **teorías de interferencia** mantienen que si la misma clave se liga a una serie de representaciones, estas representaciones entran en competencia durante la recuperación, lo que produce interferencia. Los nuevos recuerdos interfieren los más antiguos y los más antiguos, los nuevos. En consecuencia, no se recuerdan bien los estímulos o los acontecimientos, ni los nuevos ni los antiguos —aunque la información está aún en la memoria, la hemos olvidado porque han fallado los intentos de recuperarla—.

### 4.2.1. Interferencias retroactivas y proactivas

La interferencia puede obrar en dos sentidos: he aquí un ejemplo de **interferencia retroactiva,** en la cual un nuevo aprendizaje provoca la incapacidad de recordar información previamente aprendida (McGeogh, 1942; Melton e Irwin, 1940). Supon-

gamos que tenemos una antigua cuenta de correo electrónico que utilizábamos en el ordenador de casa, con una *password* que antes utilizábamos diariamente. Ahora estamos dentro del sistema de la universidad, con una *password* nueva. La universidad permite un uso personal generoso de su cuenta, por lo que no hemos utilizado la antigua durante un tiempo considerable. En este momento necesitamos encontrar un mensaje antiguo, enterrado en la antigua cuenta de correo electrónico, y *somos incapaces de recordar la antigua password debido a que la nueva la interfiere*.

El fenómeno de interferencia retroactiva se ha demostrado en laboratorio utilizando pares de estímulos (Barnes y Underwood, 1959) (Figura 5-15a). En un experimento, todos los sujetos aprendieron en primer lugar pares de palabra-palabra aleatorios, los pares A-B. (Esta etapa es análoga al aprendizaje que realizamos cuando codificamos una asociación entre el concepto de «*password*» y una combinación particular de caracteres para tener acceso a nuestra primera cuenta de correo.) Se les pidió a algunos de los sujetos que asociaran una segunda palabra (C) con cada palabra A de los pares originales. (Este aprendizaje A-C es parecido a codificar la asociación entre el concepto de «*password*» y los caracteres que conforman nuestra nueva *password* en la cuenta de correo de la universidad). A otros sujetos no se les pidió que formaran un segundo conjunto de asociaciones de palabras, pero se les dio una tarea de «relleno» que, pese a exigir mucho tiempo, no requiere aprendizaje. Luego se examinó la memoria presentando las palabras A como claves para recuperar la información y se les pidió a los sujetos que recordarán la palabra, o palabras, que se habían emparejado con cada una de ellas. El primer grupo, que había tenido que aprender los pares

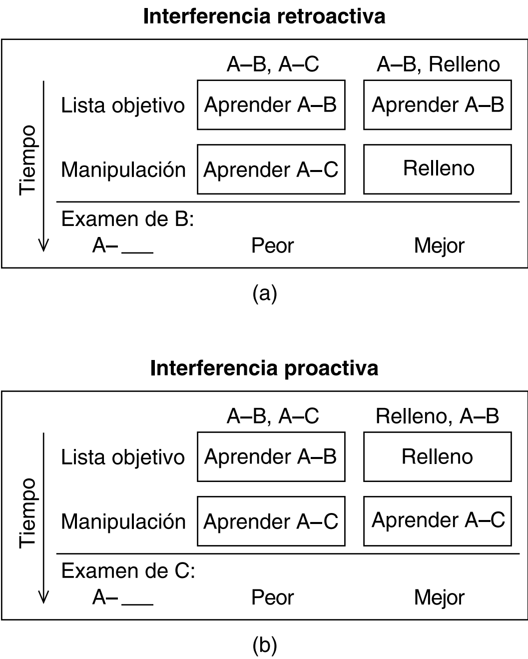



**FIGURA 5-15** Diseños experimentales que examinan la interferencia retroactiva y la interferencia proactiva

(a) Se ha observado que la interferencia retroactiva produce un recuerdo posterior peor de las asociaciones A-B debido a las asociaciones A-C aprendidas más tarde. (b) Se ha observado que la interferencia proactiva produce un recuerdo posterior peor de las asociaciones A-C debido a las asociaciones A-B aprendidas con anterioridad.

A-C al igual que los A-B, tuvo un peor recuerdo de los pares A-B que el segundo grupo, cuya segunda tarea no había requerido aprendizaje.

Este resultado eliminaba la posibilidad de que el declive pasivo fuera la causa: el tiempo transcurrido entre las tareas y la prueba de memoria fue el mismo para ambos grupos y, por lo tanto, cualquier declive que ocurriera debería haber sido el mismo. La conclusión fue entonces que el aprendizaje de los pares A-C (o de nuestra nueva *password*) interfería la capacidad de recordar los pares A-B, que se habían aprendido previamente (o nuestra antigua *password*). Otros estudios han demostrado que el grado en el cual la información que se aprende más tarde interfiere el recuerdo de la información que se aprende antes, depende de lo similares que sean (McGeogh y McDonald, 1931). Cuanto más similar sea la información posterior a la que se aprendido previamente, mayor será la interferencia y, por lo tanto, mayor el olvido.

Consideremos ahora el sentido inverso: la información previamente aprendida puede interferir la memoria de información aprendida más tarde por efecto de **interferencia proactiva** (Underwood, 1957). Este fenómeno se ha investigado en laboratorio del mismo modo que la interferencia retroactiva (Figura 5-15b). Veamos un ejemplo de interferencia proactiva: muchas personas coinciden en decir que les es más difícil recordar dónde han dejado su coche al estacionar en un aparcamiento que utilizan con regularidad que cuando lo hacen en uno que utilizan sólo de vez en cuando. Las muchas ocasiones en que antes se ha asociado el aparcamiento y la plaza utilizada entran en competencia —y, por lo tanto, interfieren— cuando se intenta recuperar de la memoria la asociación más reciente.

### 4.2.2. Bloqueo y supresión

La memoria es asociativa: la codificación supone la formación de asociaciones entre diferentes representaciones mentales, tal como ocurre al ligar el concepto de «*password*» con una secuencia particular de caracteres. La recuperación supone un modelo de conclusión: la presentación de una clave de recuperación (por ejemplo, la solicitud de la *password* que aparece en la pantalla del ordenador) reactiva la representación asociada (la secuencia correcta de caracteres de cada cual). Dados los principios fundamentales de ligamiento y la dependencia de clave de la conclusión de modelos, queda claro que la interferencia puede llevar al olvido a través de una serie de mecanismos.

El olvido puede deberse al **bloqueo** de una representación de memoria, esto es, a la obstrucción que puede ocurrir cuando múltiples asociaciones están a su vez asociadas con una clave, y una de esas representaciones es más fuerte que las otras, lo cual impide la recuperación de la información objetivo. Muchos teóricos creen que la probabilidad de recuperar una memoria concreta depende de la fuerza de la asociación entre la clave de recuperación y la representación concreta *comparada con* la fuerza de la asociación entre esa misma clave y otra representación. En la competición resultante durante la recuperación, la representación con asociaciones más fuertes «gana» y se recuerda; las que tienen asociaciones más débiles «pierden» y se olvidan. Aquí se da una discrepancia importante con las teorías del declive, las cuales sostienen que las representaciones degradadas de memoria se pierden; la teoría del bloqueo hace hincapié en que la información olvidada se halla aún en la memoria, pero el acceso a ella está bloqueado temporalmente por una representación competidora dominante. Esta representación más débil se puede desbloquear si se presenta una clave de recuperación mejor; una que esté asociada más fuertemente con ella.

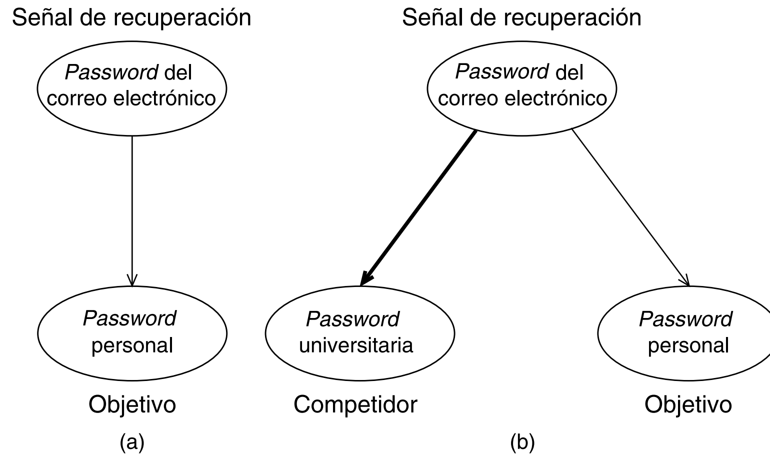



**FIGURA 5-16** Sobrecarga de señales y bloqueo

(a) La señal de recuperación («*password* del correo electrónico») está asociada con un único elemento («*password* personal»). (b) El aprendizaje y uso posterior de una nueva «*password* universitaria» hace que ésta se asocie también con la señal «*password* del correo electrónico» y comience, por lo tanto, a sobrecargarse la señal. Debido a que se ha utilizado más recientemente, la asociación entre la «*password* universitaria» y la señal puede ser más fuerte (se representa con una línea más gruesa) que la asociación entre la «*password* personal» anterior y la señal. Esta asociación más fuerte puede bloquear la recuperación de la *password* anterior.

El bloqueo es probablemente responsable de muchos casos de olvido. La representación mental de la antigua *password,* no usada durante algún tiempo, podría considerarse una representación más débil que la de la nueva *password*, utilizada diariamente (Figura 5-16). Posiblemente sea un fenómeno adaptativo: permite la puesta al día de memorias de modo que recordamos la información que es probablemente la más procedente (Bjork, 1989).

El bloqueo explica asimismo en parte una serie de características sorprendentes y no fáciles de intuir de la memoria: que el mero hecho de recordar un estímulo o acontecimiento puede provocar el olvido de otro. Supongamos que empezamos a pensar distraídamente en catalogar nuestra colección de CD y comenzamos haciendo una lista mental de ellos. Al principio la lista crece deprisa pero muy pronto nuestra tasa de recuperación se hace más lenta. Su familiaridad con todos sus CD es aproximadamente la misma, así pues, ¿por qué ocurre esto? Lo que está ocurriendo es el fenómeno llamado **interferencia de *output***, por el cual el fortalecimiento de los recuerdos que aporta el acto de recuperación inicial bloquea la recuperación de otros recuerdos. Recuperar los nombres de algunos de los CD de su colección sirve para fortalecer la asociación entre esas representaciones y la clave de recuperación; y, a su vez, estas representaciones recién fortalecidas sirven para bloquear el acceso a los títulos de otros CD, disminuyendo temporalmente nuestra capacidad para recordarlos.

Si las representaciones se pueden fortalecer, por ejemplo mediante recuperación, ¿pueden *suprimirse* las representaciones no recuperadas —debilitadas en términos absolutos, no relativos—? En otras palabras, ¿dada la naturaleza competitiva de la memoria, puede realmente ser esto causa de que ciertos recuerdos se debiliten? (¿se ha suprimido el recuerdo de nuestra *password* anterior debido a la recuperación reiterada de la *password* de la universidad?). La respuesta parece ser que sí, como demuestra un fenómeno llamado **olvido inducido por recuperación**, el olvido que ocurre cuando se suprime un recuerdo durante la recuperación de otro recuerdo (Anderson y

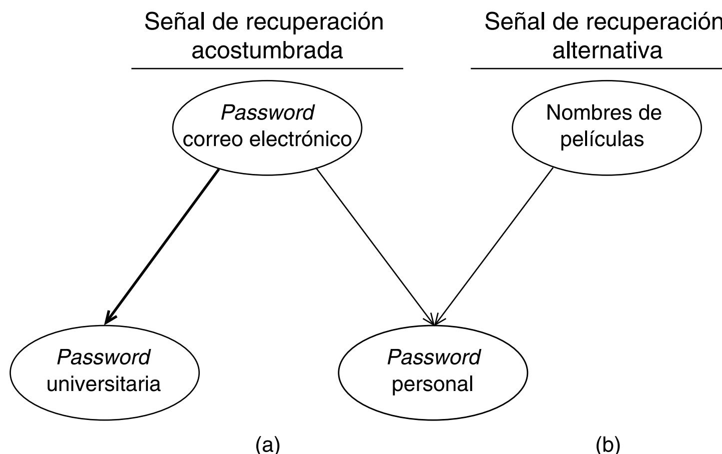



**FIGURA 5-17** Dos mecanismos que pueden explicar la interferencia

(a) La teoría del *bloqueo* postula que aprender y utilizar (esto es, recuperar) la nueva *password* universitaria con la señal «*password* del correo electrónico» sirve para impedir el acceso a la *password* personal anterior, menos utilizada (obsérvese el grosor relativo de las líneas). La hipótesis de *supresión* sostiene que la recuperación de la nueva *password* sirve eficazmente para suprimir (esto es, debilitar) la representación de la *password* anterior.
(b) Al examinar la memoria con una señal alternativa —una que no esté sobrecargada, como «*password* del correo electrónico» y que puede aplicarse a ambas *passwords*—, se hace evidente que el olvido no es una consecuencia del bloqueo.
(Adaptado de Anderson, M. C. y Green, C. (2001). Supressing unwanted memories by executive control. *Nature, 410*: 366-369. Reimpreso con autorización.)

Spellman, 1995). La **supresión**, el debilitamiento activo de un recuerdo, ocurre porque el acto de la recuperación es competitivo: para recuperar el recuerdo que se desea (nuestra *password* universitaria), no sólo hemos de fortalecer su representación, sino que también hemos de suprimir las representaciones de sus asociados competidores (nuestra *password* anterior).

Adviértase la importante diferencia entre supresión y bloqueo: si se ha *suprimido* el recuerdo de un competidor, se tienen dificultades para recuperarlo incluso cuando se utiliza una clave que no ha sido sobrecargada, lo que no es el caso del *bloqueo*, el cual depende de asociaciones múltiples —esto es, de claves sobrecargadas—. En el ejemplo de la *password*, supongamos que nuestra *password* anterior era «Batman begins», título de una película. En la medida en que la representación de esta primera *password* se suprimió durante la recuperación de nuestra segunda *password* universitaria, debería costarnos más recuperarla aun cuando se use una clave alternativa («títulos de películas») en vez de la clave que se ha practicado («*password* del correo electrónico») (Figura 5-17). Anderson y Spellman demostraron que la recuperación de una representación asociada con una clave lleva al debilitamiento o la supresión activos de otras representaciones asociadas con dicha clave, como lo indica el aumento de dificultad para recordar el elemento cuando se prueba con una clave alternativa.



## *Control de comprensión*



1. ¿Qué factores conducen al olvido?
2. ¿Cómo dan cuenta el bloqueo y la supresión del olvido?

# 5 Sistemas de memoria no declarativa

Los mecanismos cognitivos y neurobiológicos en los que se basa la memoria declarativa —y que conducen al olvido— se analizaron con más detalle en nuestra exposición de la memoria episódica, una forma de memoria declarativa. Tenemos experiencia de otras formas de memoria a largo plazo de forma harto diferentes. Estas otras formas se conocen en conjunto como *memoria no declarativa* o *implícita*.

Cuando se estudian los sistemas de memoria no declarativa, no se emplean conceptos tales como «recuerdo». La memoria no declarativa opera fuera de la consciencia: por lo general no somos conscientes de cómo influye la memoria no declarativa en nuestra conducta y no podemos describir el contenido de los recuerdos no declarativos recuperados. En lugar de ello, su recuperación e influencia se expresan implícitamente, mediante cambios en la conducta. Como se señaló anteriormente, la memoria no declarativa da base a formas de aprendizaje (los hábitos, por ejemplo), y recuerdos (la habilidad de montar en bicicleta) que son cualitativamente distintos y funcionalmente independientes de la memoria declarativa.

Existe una serie de sistemas de memoria no declarativa, cada uno con cualidades únicas y dependientes de circuitos cerebrales específicos (véase Figura 5-1). Los lóbulos temporales mediales no están involucrados y, por lo tanto, los pacientes con amnesia (como H. M., que sufría una pérdida devastadora de memoria declarativa) pueden seguir estableciendo y recuperando memorias no declarativas, tales como aprender y manifestar nuevas habilidades motoras (véase Figura 5-4).

## 5.1. *Priming*

El fenómeno de *priming* ilustra algunas de las características fundamentales de los sistemas de memoria no declarativa. Mediante el fenómeno de *priming,* nuestras experiencias nos pueden influir de modo no consciente de tal modo que podemos disponer más fácilmente de estímulos y acontecimientos que hemos conocido previamente. Específicamente, tal y como se observa en la memoria, el *priming* sigue a la presentación o el conocimiento de un estímulo —una palabra, un rostro u otro objeto— y constituye una alteración no consciente de nuestra respuesta posterior a dicho estímulo o a otro relacionado. Estos cambios comportamentales pueden incluir un aumento de la velocidad de la respuesta, un aumento de la exactitud de la respuesta o un sesgo de la naturaleza de las respuestas.

El cambio de vocabulario puede ser un ejemplo interesante de *priming*. ¿Estamos utilizando un modo peculiar de expresarnos o un poco más de jerga de lo que solíamos hacer? Posiblemente lo hayamos imitado de un amigo. Puede ser que comenzáramos a utilizar esa frase de una forma no deliberada, sin considerar su fuente o la influencia original. La imitación del amigo ocurre inconscientemente en la conversación, debido a que nuestro recuerdo de esa expresión ha sido facilitado mediante *priming* porque el amigo la utiliza, lo cual aumentó la probabilidad de que la utilizáramos espontáneamente.

Aunque existen muchas formas de *priming*, en la mayoría de los casos este se puede clasificar en dos grandes categorías: perceptivo y conceptual (Roediger y McDermott, 1993). El ***priming* perceptivo** conduce a un aumento de la capacidad de distinguir un estímulo; el ***priming* conceptual** facilita el procesamiento del significado de un estímulo o aumenta el acceso a un concepto.

### 5.1.1. *Priming* perceptivo

En lo que se conoce como la *tarea de identificación perceptiva*, se presentan palabras de prueba en la pantalla del ordenador durante un tiempo tan breve como 34 milisegundos y la tarea consiste en identificar la palabra que se expone brevemente. Debido a que la señal perceptiva se limita a una presentación tan extremadamente breve, por lo general los sujetos sólo pueden identificar un pequeño porcentaje de estas palabras de prueba. Sin embargo, cuando se presenta visualmente, antes de realizar la tarea, una palabra de prueba en una lista a estudiar, aumenta la probabilidad de que esa palabra se identifique, aun cuando los sujetos no son conscientes de que les ha influido el estudio de la lista. Esta diferencia de exactitud de respuesta ante estímulos estudiados y no estudiados —la medida del *priming*— ocurre aunque los sujetos suelen decir que sólo estaban adivinando las palabras apenas vistas en la pantalla, lo que indica que la memoria declarativa no está guiando la ejecución de la tarea.

El *priming* perceptivo refleja las consecuencias del aprendizaje perceptivo, y por lo tanto, depende en gran medida del grado de superposición perceptiva entre la primera vez que se encuentra un estímulo y las siguientes. Por supuesto, el grado de superposición es mayor cuando, tanto el conocimiento inicial, como las ocasiones siguientes, ocurren en la misma modalidad sensorial; el ver una palabra facilita reconocerla (de nuevo mediante *priming*) al verla otra vez, pero ayuda poco o nada en el caso de la audición (Jacoby y Dallas, 1981). Se ha observado *priming* perceptivo en todas las modalidades que se han estudiado (visión, audición y tacto), lo cual sugiere que refleja una forma general de aprendizaje en los sistemas de representación perceptiva (Tulving y Schacter, 1990).

Puesto que los pacientes cuya amnesia es consecuencia de una lesión en el lóbulo temporal medial conservan el *priming* perceptivo, esta forma de memoria no puede depender de los mecanismos que sustentan la memoria declarativa. Más bien, se piensa que el *priming* perceptivo deriva del aprendizaje que ocurre en las regiones de corteza sensitiva. El caso de un paciente conocido como M. S. es un buen ejemplo (Gabrieli *et al.*, 1995).

Al igual que H. M., M. S. sufría crisis epilépticas que no se podían controlar con medicación, aunque en el caso de M. S. la epilepsia se debía a anomalías en la corteza occipital, no en los lóbulos temporales mediales. La intervención quirúrgica en la que se extirpó la mayor parte del lóbulo occipital derecho de M. S. controló sus crisis, pero asimismo le provocó una deficiencia de memoria muy sutil de la que no era consciente: aunque la memoria declarativa de M. S. está intacta, no da signos de *priming* perceptivo en el terreno visual. Por ejemplo, su capacidad de identificar estímulos visuales presentados brevemente no mejora cuando ve antes dichos estímulos (Figura 5-18). Sus pautas de memoria tienen dos implicaciones importantes. En primer lugar, el déficit de *priming* de M. S. nos permite descartar que, el hecho de que los pacientes con amnesia conserven la capacidad de *priming*, refleje meramente un funcionamiento residual de la memoria declarativa. Al contrario, puesto que M. S. tiene afectado el *priming* perceptivo y preservada la memoria declarativa, lo cual es el modelo inverso de lo que se observa en pacientes con amnesia, parece claro que el *priming* perceptivo y la memoria declarativa reflejan formas diferentes de memoria que dependen de estructuras cerebrales distintas. En segundo lugar, la deficiencia de memoria de M. S. proporciona una prueba convincente de que para el *priming* perceptivo se requiere un procesamiento cortical de modalidad sensorial específica.

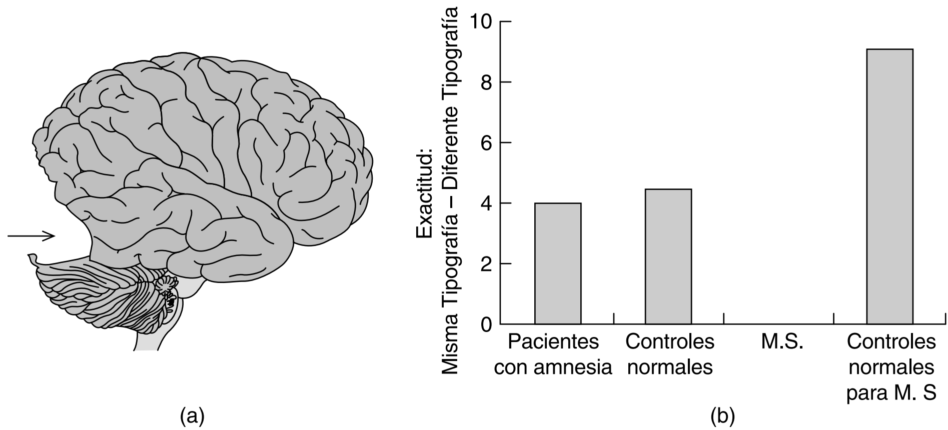



**FIGURA 5-18** *Priming*, memoria y daño cerebral

M. S. tiene intacta la memoria declarativa, pero no se beneficia del *priming* perceptivo visual. Los pacientes con amnesia lo hacen. (a) Una representación de RM tridimensional del hemisferio derecho del cerebro de M. S., en la que se muestra la envergadura (*flecha*) de la extirpación de la corteza occipital derecha.

(Wagner, A. D. y Koutstaal, W. Priming. En *Encyclopedia of the Human Brain*, Vol. 4. Elsevier Science, 2002. pp. 27-46, Fig 1. (Reimpreso con autorización.)

(b) Importancia del *priming* visual en pacientes con amnesia y en sus controles equiparados en edad. En todos los grupos, excepto en M. S., el efecto de *priming* en completar la raíz de las palabras fue mayor cuando la tipografía de la raíz de la palabra coincidía con la tipografía de la palabra estudiada.

(Datos de Vaidya, C. J., Gabrieli, J. D., Verfaellie, M., Fleischman, D., y Askari, N. (1998). Font-specific priming following global amnesia and occipital lobe damage. *Neuropsychology, 2*; 183-192 © 1998, *American Psychological Association*. Reimpreso con permiso).

Durante la pasada década, los investigadores han utilizado técnicas de neuroimagen para examinar los correlatos neurales del *priming* perceptivo en el cerebro humano ileso (Schacter *et al.*, 2004). En el experimento habitual, el nivel de activación durante el procesamiento inicial de los estímulos visuales se compara con el que se da durante el procesamiento repetido (esto es, facilitado por *priming*) de los mismos estímulos. Tales experimentos han puesto de manifiesto que el *priming* visual se acompaña de un *descenso* de activación en las regiones de la corteza visual implicadas en el procesamiento inicial de los estímulos (véase la Figura 5-19 en el Inserto a color H). Esto se ha comprobado en una serie de tareas y con diversos tipos de estímulos, incluyendo palabras y objetos; lo cual sugiere que refleja un principio de funcionamiento fundamental que comparten las regiones de procesamiento sensitivo. La localización cerebral del *priming* visual en la corteza visual es una prueba más de que la corteza sensitiva de modalidad específica juega un papel decisivo en el *priming* perceptivo.

Las observaciones mediante neuroimagen del fenómeno de *priming* en la corteza sensitiva humana guardan un sorprendente parecido con el fenómeno de **supresión de repetición** que se ha observado en los estudios de primates no humanos y de ratas; esto es, una disminución de la frecuencia de disparo de las neuronas de las regiones visuales en caso de exposición repetida a un estímulo (Desimone, 1996). El *priming* perceptivo en los seres humanos y la supresión de la repetición en los seres no humanos podría reflejar la acción de un único mecanismo de aprendizaje subyacente que cambia las propiedades de respuesta de las neuronas sensitivas que procesan las características perceptivas de un estímulo y, consecuentemente, afecta a la conducta. Una hipótesis es que este cambio consiste en debilitar las respuestas de neuronas que,

aunque inicialmente responden a la presentación del estímulo, no son imprescindibles para identificarlo. Este proceso desemboca en una representación neural más escasa y más selectiva —menos neuronas se activan en respuesta a un estímulo, lo que conduce a una reducción de la señal de RMf y de la frecuencia de disparo neuronal— y una mejor identificación del estímulo (Wiggs y Martin, 1998; véase la Figura 5-19 en el Inserto a color H).

### 5.1.2. *Priming* conceptual

Las modificaciones del habla, como puede ser la incorporación de nuevas expresiones en el vocabulario cotidiano, ocurren frecuentemente de forma no consciente y no reflejan cambios en los sistemas de representación perceptiva. En lugar de ello, se piensa que la forma de *priming* que da lugar a una mayor accesibilidad a los conceptos, tales como los términos de argot, surge como resultado del aprendizaje en sistemas de representación semántica. El *priming* conceptual, que conduce a una facilitación del procesamiento del significado de una palabra, queda demostrado en la *tarea de generación de ejemplares de categoría*. Se les presenta a los sujetos una categoría clave, tal como la de «frutas», y se les pide que digan el nombre de la primera fruta que se les ocurra. Habitualmente, la probabilidad de que se genere espontáneamente un ejemplar dado (por ejemplo, «cereza») es mayor si esa palabra figuraba en una lista de estudio (no relacionada) previa. Dicho aumento no refleja memoria declarativa, ya que los pacientes con amnesia demuestran tener un nivel normal de *priming* conceptual aún cuando su memoria episódica para listas de estudio de ese tipo esté afectada. Dicho de otro modo, si se les pide que recuerden las palabras de una lista, no pueden hacerlo; no obstante, mejoran en la tarea de generación de categorías cuando han visto antes las palabras.

Los estudios de neuroimagen del cerebro humano ileso durante *priming* conceptual han puesto de manifiesto cambios en la activación de los lóbulos frontal y temporal. El estudio habitual compara la activación en respuesta a decisiones conceptuales, iniciales y repetidas, sobre palabras u objetos (por ejemplo, decidir si una palabra es «abstracta» o «concreta»). Por el contrario al *priming* perceptivo, el cual se asocia con una disminución de actividad en las regiones corticales perceptivas de modalidad específica, los estudios de neuroimagen del *priming* conceptual revelan que el lóbulo frontal inferior izquierdo y la corteza temporal lateral izquierda están menos activados durante el procesamiento conceptual repetido de un estímulo. Se piensa que el lóbulo frontal izquierdo contribuye a la recuperación semántica cuando la información que se busca no acude inmediatamente a la mente tras la presentación de la señal (Warner *et al.,* 2001). La mayor accesibilidad a la información semántica que se busca como resultado del *priming* sirve para disminuir lo que se requiere para que se de este proceso de recuperación. De este modo, el *priming* disminuye el esfuerzo cognitivo que se precisa para recuperar la información pertinente.

## 5.2. Más allá del *priming*: otras formas de memoria no declarativa

Aunque podría decirse que el *priming* es la forma de memoria no declarativa mejor conocida, hay otros sistemas de memoria que operan independientemente de los lóbulos temporales mediales para adquirir y almacenar el conocimiento que puede expre-

sarse inconsciente o implícitamente. Estos otros sistemas no declarativos son la base de las habilidades, la adquisición de hábitos estímulo-respuesta, así como la formación y expresión de asociaciones condicionadas. En estos sistemas, el aprendizaje habitualmente se da de modo gradual y con incrementos.

### 5.2.1. Aprendizaje de habilidades

Los seres humanos somos capaces de adquirir conductas considerablemente habilidosas. El aprendizaje de habilidades está en la base de nuestra capacidad de hacernos expertos, en mayor o menor grado, en cosas tales como la mecanografía o el *snowboarding*. Con la práctica, la habilidad se hace más exacta y se responde más rápidamente.

Se ha propuesto que la adquisición de una habilidad conlleva tres etapas (Fitts y Posner, 1967). El aprendizaje comienza con una *fase cognitiva*, en la cual el conocimiento se representa de modo declarativo, con frecuencia conforme a un código verbal, y se requiere bastante atención. Cuando empezamos a aprender *snowboard* tuvimos que recordar conscientemente una serie de instrucciones sobre, por ejemplo, cómo se gira; la falta de atención se sigue frecuentemente de una caída. Con la práctica, pasamos gradualmente a una *fase asociativa*. La conducta empieza a ser más precisa y la tasa de error y de «mediación verbal» —esto es, el hablar con uno mismo mientras se aprende— disminuyen a medida que la información visual sobre el terreno de la pista y las respuestas motoras que nos permiten movernos por el terreno se dan al tiempo, y se establecen y fortalecen las asociaciones nemónicas que se requieren para hacer *snowboard*. Finalmente, llegamos a la *fase de autonomía*, en la que la conducta es muy precisa, se ejecuta rápidamente y es relativamente automática, requiriendo poca atención. Si hemos alcanzado esta etapa, puede que nos resulte difícil explicar a un novato cómo hacemos lo que hacemos, ya que nuestro conocimiento se expresa entonces por lo general sin consciencia de las memorias subyacentes que lo hacen posible.

El aprendizaje de una habilidad se distingue del *priming* por la especificidad del cambio de memoria. El *priming* refleja un cambio en la representación perceptiva o conceptual de un elemento determinado; el aprendizaje de una habilidad se generaliza a nuevos casos o ejemplares que no se conocieron durante el aprendizaje. No se pierde la habilidad para mecanografiar cuando se cambia de teclado.

También se diferencia el aprendizaje de una habilidad del *priming,* así como de la memoria declarativa, por las regiones del cerebro que finalmente resultan ser necesarias para adquirir y manifestar las habilidades. En general, la adquisición de habilidades depende en parte de los núcleos basales, un conjunto de estructuras subcorticales que desde hace tiempo se sabe que son importantes para la ejecución de los movimientos y que más recientemente se han relacionado con la memoria y diversos procesos cognitivos. Hay ciertas habilidades que también implican al cerebelo y a regiones corticales. La importancia de los núcleos basales para el aprendizaje de habilidades se ha puesto de manifiesto en estudios de pacientes con enfermedad de Parkinson o con enfermedad de Huntington; ambos son trastornos en la función de los núcleos basales. La disfunción de los núcleos basales respeta el *priming,* pero dificulta de forma diferencial el aprendizaje de habilidades relacionadas con la memoria declarativa. Coincidiendo con dichos hallazgos, las pruebas de neuroimagen de personas sin enfermedad neurológica han revelado cambios en el grado de activación del

caudado y el putamen, parte de los núcleos basales, cuando se adquiere una habilidad (Grafton *et al.,* 1995; Poldrack *et al.,* 1999).

### 5.2.2. Memoria de hábitos

La memoria no declarativa también abarca la adquisición de **hábitos estímulo-respuesta,** hábitos que se manifiestan tras una lenta acumulación de conocimientos sobre la relación predecible entre un estímulo y una respuesta. La adquisición y expresión de memoria de hábitos se han evaluado utilizando *tareas de clasificación probabilística*, en las cuales los sujetos aprenden a predecir uno de dos posibles resultados a partir de un conjunto de claves, cada una de las cuales tiene una relación de probabilidad con el resultado. Por ejemplo, se puede pedir a los sujetos que predigan si lloverá o habrá un día soleado basándose en un conjunto de tarjetas clave. Debido a que las asociaciones entre clave y resultado son probabilísticas —esto es, una tarjeta dada nunca predice perfectamente sol o lluvia—, recuperar la memoria episódica de ensayos de estudio específicos es una estrategia de aprendizaje ineficaz. Más bien, gracias a la presentación repetida de tarjetas y los resultados que producen, los sujetos acumulan gradualmente conocimiento implícito sobre las asociaciones estímulo-respuesta.

En contraste con los pacientes con una lesión del lóbulo temporal medial, los pacientes con una disfunción de los núcleos basales presentan una grave disminución de su rendimiento en esta tarea (Knowlton *et al.,* 1994, 1996). Las pruebas de neuroimagen de personas sin afectación neurológica han evidenciado un aumento de actividad en los núcleos basales y una disminución de la misma en los lóbulos temporales mediales a lo largo del aprendizaje de un hábito (Poldrack *et al.,* 2001). Así pues, los núcleos basales resultan estar cada vez más involucrados en el proceso del aprendizaje de hábitos, mientras al parecer los sistemas de memoria declarativa están desconectados.

### 5.2.3. Asociaciones condicionadas

Los mecanismos de la memoria no declarativa dan base al aprendizaje y a la expresión de asociaciones condicionadas como las que describió el psicólogo ruso Iván Pavlov en los inicios del siglo XX. La forma más simple de condicionamiento, a la que se alude como **condicionamiento clásico**, conlleva el aprendizaje de una relación predictiva entre dos estímulos sucesivos, de modo que una respuesta que está provocada por un estímulo inicial (el *estímulo no condicionado*) antes del aprendizaje llega a ser provocada por un segundo estímulo (el *estímulo condicionado*), el cual predice la aparición del estímulo no condicionado. El establecimiento de una asociación condicionada depende del grado en el que la presencia de un estímulo predice la aparición de otro. Conforme a esto, el aprendizaje efectivo ocurre cuando un estímulo indica de forma fiable y predecible el suceso de un segundo estímulo. (El condicionamiento clásico se estudiará más adelante, en el Capítulo 8).

Al igual que en el caso de otras formas de memoria no declarativa, para el condicionamiento no se requieren los lóbulos temporales mediales. Así pues, H. M. y otros pacientes con amnesia pueden establecer una respuesta de parpadeo condicionada mediante el emparejamiento repetido de un tono con un subsiguiente soplo de aire en el ojo. (H. M., al igual que cualquiera de nosotros, empezará pronto a parpadear al oír el tono). Este conocimiento es no declarativo: los pacientes no pueden indicar cuál

es la relación temporal entre el tono y el soplo de aire. Se piensa que el cerebelo es el lugar donde se asocian los *inputs* perceptivos (tales como el sonido del tono y la sensación del soplo de aire): se ha demostrado que las lesiones del cerebelo alteran la adquisición de la respuesta de parpadeo condicionada (Solomon *et al.,* 1989).



### Control de comprensión



1. ¿Cómo afectan a la cognición el *priming* perceptivo y el conceptual?
2. ¿Cuáles son las etapas del aprendizaje de una habilidad?

## Repaso y reflexión

1. *¿Cuáles son las características de los sistemas de memoria declarativa y no declarativa?*

La *memoria declarativa* sustenta la codificación, consolidación y recuperación del conocimiento que puede recordarse conscientemente y describirse, o «declararse», a otras personas en el momento en que se recupera, como la memoria de acontecimientos (memoria episódica) y la memoria de hechos y de conceptos (memoria semántica). Cuando reconocemos a alguien, nos basamos en la memoria episódica para recordar detalles de nuestro encuentro anterior —quizá sus gustos culinarios, su nombre, sus opiniones políticas— y somos conscientes del contenido de nuestra memoria y de su relación con nuestro pasado. Para iniciar nuestra nueva conversación nos basamos igualmente en la memoria semántica a fin de recuperar el conocimiento de conceptos que vengan al caso —supongamos, los puntos de vista políticos de nuestro interlocutor— y usamos conscientemente este conocimiento para orientar nuestra conversación. La memoria declarativa depende de los lóbulos mediales temporales.

La *memoria no declarativa* sustenta las formas de conocimiento a largo plazo que se expresan implícitamente como un cambio de conducta más que como un recuerdo consciente. A menudo no somos conscientes de las operaciones de la memoria no declarativa ni de cómo esas memorias modelan nuestros pensamientos y acciones. Así, nuestra capacidad de procesar perceptivamente el rostro de alguien que reconocemos probablemente esté facilitada (esto es, se ha dado *priming*) por haber procesado previamente esa cara —y aunque lo más probable es que no nos demos cuenta del cambio, nuestro segundo procesamiento perceptivo de la cara se realiza mucho más rápidamente que el primero—. Los sistemas de memoria no declarativa sustentan el aprendizaje de habilidades, el condicionamiento, las memorias de hábitos y el *priming;* y todas ellos dependen de estructuras cerebrales que se localizan fuera del lóbulo temporal medial.

**Piense críticamente**

- Intentemos imaginar cómo sería la vida sin la capacidad de establecer nuevas memorias declarativas, ¿qué aspectos de nuestra vida cambiarían?
- Aunque por lo general no somos conscientes de cuándo la memoria no declarativa está influyendo en nuestra conducta, ¿podemos pensar en tres ejemplos del

día de hoy en el que alguna forma de memoria no declarativa haya afectado probablemente a nuestras acciones?

2. *¿Cómo codificamos nuevas memorias declarativas, qué procesos afectan a la eficacia de la codificación y qué mecanismos cerebrales elaboran esas memorias?*

Las memorias declarativas se codifican mediante procesos de los lóbulos temporales mediales que ligan los diversos aspectos de un estímulo o un acontecimiento en una representación de memoria integral. La codificación episódica conlleva ligar o unir los elementos de un estímulo o acontecimiento con su contexto. Así pues, para recordar un encuentro pasado con alguien, hemos de codificar inicialmente los elementos de ese encuentro —uniendo toda la información perceptiva (por ejemplo, su rostro), información verbal (por ejemplo, su nombre), información espacial (por ejemplo, el lugar donde nos encontramos) e información semántica (por ejemplo, sus gustos culinarios y sus opiniones políticas)—. Se piensa que las memorias semánticas surgen cuando se establece la regularidad del suceso conjunto de elementos en múltiples contextos; de este modo, dichos elementos se separan del contexto, pero siguen captando las tendencias centrales de un estímulo o acontecimiento. Así pues, el conocimiento de la cocina italiana surge al agrupar las diversas experiencias que se han tenido que incluían comida italiana.

La codificación episódica está facilitada por una serie de factores: la atención, el procesamiento y la elaboración semántica, la generación de información a partir de la memoria y lo que se espacien los ensayos de codificación. Por ejemplo, el fallo en atender al nombre de una persona cuando nos la están presentando debido a una distracción (por ejemplo, estar pensando en un examen inminente de física) puede desembocar en una mala codificación (¡y en un apuro posterior!). La atención, el procesamiento y la elaboración semánticos, así como la generación de información, dependen todos en parte de mecanismos localizados en los lóbulos frontales del cerebro. Por ello, los lóbulos frontales tienen la potestad de influir en qué cosas aprendemos y cómo las aprendemos. Aunque cada uno de estos factores de codificación afecta al rendimiento de memoria posterior, la codificación no es determinante —más bien, nuestra capacidad posterior para recordar depende fundamentalmente de la superposición entre el procesamiento y las claves presentes durante la codificación y las que están implicadas y presentes durante la recuperación—.

**Piense críticamente**

- ¿Cómo deberíamos estudiar para mejorar el aprendizaje del material del curso y la probabilidad de recuperar la información cuando fuera necesario?
- Pensemos en un caso reciente en el cual no hayamos podido recordar un acontecimiento anterior, ¿podríamos buscar el origen de este fallo de memoria en una codificación ineficaz?, ¿cómo podríamos haber cambiado este resultado nemónico?

3. *¿Cómo se recuperan las memorias episódicas y por qué en ocasiones lo que recuperamos no es un fiel reflejo de nuestro pasado?*

Recordar sucesos del pasado depende de la recuperación episódica, proceso mediante el cual las representaciones almacenadas de la memoria se reactivan posteriormente. Conforme a la teoría del doble proceso, la recuperación puede tener lugar de cualquiera de las dos maneras siguientes: el recuerdo de una presenta-

ción o conocimiento pasado de un estímulo, o la experiencia subjetiva de que un estímulo resulta conocido. Se piensa que el recuerdo depende de procesos de conclusión de modelos que ocurren en el hipocampo, los cuales recapitulan o repiten en la corteza lateral la información que estaba presente durante la codificación del acontecimiento. Un tema de debate actual es si la familiaridad, en particular, depende sólo de la corteza temporal medial o también del hipocampo.

Debido a que la conclusión de modelos es desencadenada por claves de recuperación, el recuerdo depende decisivamente de las claves que se han utilizado para sondear la memoria y de su solapamiento con las claves presentes durante la codificación —claves tanto del contexto externo como internas—. Por lo tanto, puede que no logremos reconocer a alguien que hayamos conocido anteriormente, no porque le hayamos olvidado sino porque el contexto de cada uno de los dos encuentros es diferente: muchas de las claves que pueden desencadenar la conclusión de modelos no están presentes cuando cambia el contexto. Los lóbulos frontales influyen en parte en el recuerdo debido a que dichas regiones del cerebro sirven para representar y ampliar las claves de recuperación, así como para resolver interferencias entre recuerdos que compiten.

La memoria es propensa a la distorsión y al error —lo que recuperamos no es siempre un reflejo exacto de lo que conocimos—. Los sesgos durante la codificación pueden distorsionar aquello que se almacena en la memoria —e incluso, cuando las memorias están codificadas con relativa exactitud, los sesgos durante la recuperación pueden distorsionar lo que se «recuerda» cuando reconstruimos el pasado—. Otro error frecuente de memoria es la atribución errónea de algo que se recuerda a una fuente equivocada. Así, podríamos no estar seguros de si en realidad hemos realizado una acción o tan sólo hemos pensado en realizarla (¿Llegué a cerrar la puerta?). Asimismo, a veces afirmamos equivocadamente que hemos conocido estímulos que, siendo nuevos, son similares perceptiva o conceptualmente a estímulos que hemos conocido previamente. Por último, la memoria se puede desviar por sugestiones de otros: en unas ocasiones, la sugestión lleva al error debido a que induce una atribución errónea; en otras, el error ocurre debido a que aceptamos información engañosa como si fuera cierta, dado que de otro modo no podríamos recordar.

**Piense críticamente**

- ¿Qué factores consideraríamos para decidir si un acontecimiento en particular ocurrió del modo en que nos lo describió el único testigo?
- ¿Cuál es la relación entre el ligamiento que ocurre en el lóbulo temporal medial y la conclusión de modelos?, ¿la amnesia anterógrada es probablemente un fallo de ligamiento, o un fallo de conclusión de modelos?, ¿y en el caso de la amnesia retrógrada?

4. *¿Por qué a veces olvidamos?*

Olvidamos por muchos motivos. Unas veces porque no logramos codificar eficazmente la información que ahora intentamos recordar, otras porque las claves que estamos utilizando en el intento de desencadenar el recuerdo no son eficaces; cambiar a otras claves o ampliar las claves que estamos utilizando puede ser de ayuda. Algunos teóricos han planteado la hipótesis de que el olvido puede también ocurrir debido a que las memorias decaen espontáneamente con el tiempo. Esta hipótesis se ha cuestionado, aunque es difícil descartar por completo el decli-

ve como un posible mecanismo de olvido. Dicho esto, existe un sólido acuerdo y una amplia evidencia de que el olvido a menudo se debe a interferencia —memorias que compiten (o interfieren) unas con otras en el momento de la recuperación, lo que tiene como resultado no lograr recuperar el recuerdo que se busca—. La interferencia proactiva y la reactiva surgen, en parte, debido a que el tener asociaciones múltiples con una clave sirve para sobrecargar la clave, haciéndola menos efectiva para desencadenar el recuerdo de cualquier cosa con la que esté asociada. Además, cuando un elemento de información está asociado más estrechamente con una clave que con otra, nuestra capacidad de recuperar el último recuerdo puede ser bloqueada por este recuerdo competidor más fuerte. Por otra parte, ya que los recuerdos compiten durante la recuperación, el hecho de recuperar un recuerdo directamente debilita o suprime la representación de un recuerdo relacionado, lo que lleva a un olvido inducido por recuperación.

**Piense críticamente**

- La memoria es esencial para recordar la propia vida y, por lo tanto, para generar el sentimiento de sí mismo. ¿Cómo debería influir saber que la memoria es falible en nuestra confianza, en lo que sabemos de nuestro pasado y en nuestro sentimiento de nosotros mismos?
- A menudo nos cuesta recordar algo, un amigo podría intentar echarnos una mano sugiriéndonos posibles respuestas. Aunque bien intencionados, ¿cómo podrían estos intentos de ayuda desembocar en exactamente lo contrario —disminuyendo la probabilidad de recordar la información deseada—?

5. *¿Cuáles son las formas de memoria no declarativa y cómo influyen en nuestra conducta?*

Comprender que el cerebro alberga múltiples sistemas de memoria marcó un hito fundamental: todas las regiones del cerebro cambian (o «aprenden») cuando son reclutadas para realizar alguna función o computación. Lo que difiere entre los sistemas de memoria declarativa y no declarativa son los tipos particulares de procesos o funciones que sustentan diferentes regiones cerebrales y, por lo tanto, el tipo particular de memorias que dichas regiones pueden sustentar. Mientras que la memoria declarativa depende de la capacidad exclusiva de los lóbulos temporales mediales para recibir y ligar *inputs* procedentes de cualquier parte del cerebro, la memoria no declarativa por lo general depende de cambios en redes cerebrales locales tras la implicación previa de dichas redes en una tarea. Así pues, el *priming* refleja cambios en sistemas de representación perceptivos y conceptuales tras el procesamiento perceptivo o conceptual previo de los estímulos. Estos cambios se manifiestan en la conducta como una facilitación del rendimiento. El aprendizaje de habilidades, la memoria de hábitos y el condicionamiento son otras formas de memoria no declarativa que se adquieren gradualmente y que, en última instancia, modelan nuestra conducta de un modo del que no necesitamos ser conscientes.

**Piense críticamente**

- ¿Cómo repercute la memoria no declarativa en el punto de vista de que los seres humanos tenemos libertad de acción —es decir, que hacemos elecciones conscientes sobre qué pensar y cómo actuar—?
- Si tuviéramos una lesión cerebral que produjera una alteración del *priming* conceptual, ¿cómo podría influir esto en nuestro funcionamiento cotidiano?

CAPÍTULO 6

# Memoria operativa

## Objetivos de aprendizaje

Estamos en mitad de una animada conversación sobre películas, en particular sobre una en concreto. Tanto nosotros como nuestros amigos la hemos visto y tenemos diferentes opiniones. Hay quien dice que uno de los protagonistas no está convincente en su papel; no estamos de acuerdo —pensamos que el fallo está en el guión y queremos defender esta opinión—. Pero antes de que podamos hacerlo, otra amiga interviene y dice que ella no piensa que ese actor estuviera mal escogido, sino que no es muy bueno, y puede argumentarlo. Creemos que nuestro punto de vista es acertado y nos gustaría apoyarlo; pero sólo conseguiríamos ofender a esta amiga, que ahora está defendiendo su opinión con entusiasmo. Además, nos vemos de pronto asintiendo a algunas de las cosas que dice. Tenemos que enfrentarnos a hacer dos cosas a la vez: prestar atención a lo que nuestra amiga está diciendo, tanto por cortesía como para seguir sus comentarios y no resultar reiterativos cuando le repliquemos; y mantener nuestra propia opinión, que estamos concibiendo a medida que la escuchamos. ¡Estamos ejercitando bien nuestra memoria operativa!

Por lo general se piensa que la memoria operativa es una de las facultades mentales más importantes, básica para capacidades cognitivas tales como planificación, resolución de problemas y razonamiento. En este capítulo se describen las ideas actuales referentes a la naturaleza de la memoria operativa, sus componentes y el modo en que funciona. Específicamente, responderemos a cinco preguntas:

1. ¿Cómo se utiliza la memoria operativa en la cognición?
2. ¿Cómo surgió el enfoque moderno de la memoria operativa?
3. ¿Cuáles son los componentes de la memoria operativa?
4. ¿Cómo «opera» la memoria operativa en el cerebro?
5. ¿Cómo podrían cambiar en el futuro los enfoques de la memoria operativa?

# 1 Utilizar la memoria operativa

Cada día tenemos la ocasión de retener brevemente en la mente elementos particulares de información crítica, almacenándolos mientras llega la ocasión de utilizarlos. He aquí algunos ejemplos: recordar un número de teléfono desde que se escucha hasta que se marca («1 646 766-6358»), imaginar una propina (la factura es de 28,37 euros, digamos 30 euros; el 10% de eso son tres euros, la mitad de eso es 1,5 euros; tres euros más 1,5 euros son 4,5 euros, el 15% que estamos buscando); el mantener en la mente las direcciones por las que hemos de conducir mientras se alcanzan los puntos de referencia que nos han dicho que busquemos («gire en la primera a la izquierda, continúe durante un kilómetro y medio, pase la escuela, manténgase a la derecha, a la izquierda al cruzar cuatro calles y, entonces, el tercer edificio a la izquierda y encontrará la salida»). A veces, un problema tiene muchas soluciones posibles, como cuando tenemos que anticipar varias posibles secuencias de movimientos en una partida de ajedrez y, en ocasiones, como cuando debemos descifrar la estructura de una frase compleja como ésta, resulta sencillo, pero en cualquier caso requiere mantener en la mente unidades de información hasta que se pueden poner todas juntas. En circunstancias como éstas, no sólo necesitamos mantener el acceso a ciertas unidades de información en la mente, sino que necesitamos también someterlas a operaciones cognitivas, meditándolas, manipulándolas o transformándolas. Este almacenamiento mental a corto plazo y estas operaciones de manipulación se denominan en conjunto **memoria operativa**[1]. Pensemos en la memoria operativa como algo que contiene una pizarra mental —esto es, con un espacio de trabajo, u operativo, que proporciona un almacén de mantenimiento temporal de modo que la información que interesa sea muy accesible y se pueda disponer de ella para inspeccionarla y computar datos—. Una vez que se han llevado a cabo las tareas cognitivas, la información se puede borrar fácilmente y el proceso puede empezar de nuevo con otra información.

## 1.1. La metáfora del ordenador

El ordenador, una metáfora tan útil en Psicología cognitiva, nos ofrece un modelo instintivamente sugestivo para pensar sobre la naturaleza y estructura de la memoria operativa. Simplificando el funcionamiento de un ordenador, hay dos medios mediante los cuales la información se almacena: el disco duro y la memoria de acceso aleatorio (RAM). El disco duro es el medio por el cual la información se almacena permanentemente, de forma estable y fiable; todos los programas, los archivos de datos y el sistema operativo de un ordenador se almacenan en el disco duro. Para utilizar esta información almacenada, hemos de recuperarla y cargarla en la RAM. Volviendo al ejemplo: la información almacenada en el disco duro es como la memoria a largo plazo y la RAM se corresponde con la memoria operativa.

La noción de memoria operativa como un espacio operativo temporal encaja perfectamente en el ejemplo: la RAM se borra y pone a cero cuando acaba la tarea ejecutada por un programa o cuando se cierra el programa. La metáfora del ordenador también sugiere otras dos características de la memoria operativa. En primer lugar, la RAM es completamente flexible respecto a su contenido. Esto es, no existe una carto-

[1] O «memoria de trabajo», término muy difundido. (*N. del T.*)

grafía establecida entre la localización de una parte de la RAM y el programa que la utiliza; cualquier programa puede acceder a cualquier parte de la RAM. En segundo lugar, según aumente la RAM de un ordenador, se podrán ejecutar en él programas más sofisticados y complejos, y se podrán ejecutar simultáneamente más programas. De modo que, si el ejemplo del ordenador para la memoria operativa es válido, el almacenamiento en la memoria operativa implica un *buffer* (término utilizado en informática para referirse a un almacén de memoria de capacidad limitada) flexible y de contenido independiente, y las capacidades cognitivas dependen de la dimensión de ese *buffer*.

¿Hasta qué punto encaja esta metáfora con la estructura y función de la memoria operativa humana real? No tenemos todas las pruebas, pero las aproximaciones cognitiva y neurocientífica al estudio del funcionamiento de la memoria operativa han revolucionado de muchos modos el tipo de preguntas que pueden formularse y han proporcionado nuevos conocimientos sobre cómo funciona la memoria operativa.

## 1.2. Implicaciones de la naturaleza de la memoria operativa

Un mejor conocimiento de la naturaleza de la memoria operativa humana puede tener importantes implicaciones para entender por qué las personas difieren en sus habilidades y capacidades cognitivas y por qué los individuos tienen diferentes grados de éxito en sus esfuerzos para alcanzar metas en el mundo real. La investigación sugiere que las personas pueden variar mucho en su **capacidad de memoria operativa** (lo que también se conoce como *working memory span*), la cantidad de información que se puede mantener accesible (Daneman y Carpenter, 1980) y que estas diferencias predicen el nivel de inteligencia general (evaluado mediante pruebas estandarizadas para obtener el CI), las puntuaciones TAS verbales e incluso la velocidad con la que se puede adquirir una habilidad, como programar un ordenador (Kane y Engle, 2002; Kyllonen y Christal, 1990)[2].

En la Figura 6-1 se muestra una prueba para determinar la capacidad de memoria operativa. (¿Por qué no se la aplica el lector a sí mismo?) ¿Coinciden los resultados con su estimación de su memoria operativa? No es de sorprender que exista una relación entre memoria operativa y capacidad cognitiva, dado lo profundamente que afecta la memoria operativa a una amplia serie de tareas cognitivas complejas, no todas ellas tan triviales como calcular una propina. Las preguntas más interesantes siguen en pie: ¿Por qué las personas difieren tanto en la capacidad de memoria operativa y dónde radican exactamente las diferencias? Si entendiéramos con mayor precisión los componentes de la memoria operativa y cuáles son los aspectos más decisivos para el logro cognitivo en el mundo real, seríamos capaces de desarrollar métodos para entrenar y ejercitar la memoria operativa de un modo que pudiera mejorar su funcionamiento y, consecuentemente, optimizar el repertorio cognitivo de una persona.

Las concepciones actuales de memoria operativa han evolucionado desde los primeros planteamientos de la Psicología cognitiva; la investigación actual se basa, como es habitual en la ciencia, en los hombros de sus predecesoras. Lo que no tenían los primeros investigadores era la tecnología que ha aportado la moderna neurociencia. No obstante, su trabajo es un buen punto de partida.

---

[2] Existe una relación entre la capacidad de memoria operativa verbal y el rendimiento en comprensión del lenguaje y razonamiento. (*N. del T.*)

¿ES $(5 \times 3) + 4 = 17$? LIBRO
¿ES $(6 \times 2) - 3 = 8$? CASA
¿ES $(4 \times 4) - 4 = 12$? CHAQUETA
¿ES $(3 \times 7) + 6 = 27$? GATO
¿ES $(4 \times 8) - 2 = 31$? PLUMA
¿ES $(9 \times 2) + 6 = 24$? AGUA

**FIGURA 6-1** Una prueba estándar de la capacidad de memoria operativa

Haga el lector esta prueba por sí mismo: coloque sobre el texto una hoja en blanco en la que haya recortado una ventana que deje ver tan sólo una línea. Para cada línea, determine si la operación es correcta y diga en voz alta «sí» o «no», según corresponda. Después memorice la palabra que se encuentra a continuación del problema. Pase rápidamente de una línea a otra. Cuando haya acabado todas las líneas, intente recordar por orden las palabras. La cantidad que pueda recordar correctamente es una estimación de su capacidad de memoria operativa. Muy pocas personas tienen una memoria operativa tan alta como seis elementos, la media es de dos o tres.



*Control de comprensión*



1. ¿Cuál sería un buen ejemplo de una situación del día a día en la cual podríamos necesitar la memoria operativa?
2. Si la memoria operativa fuera una capacidad del ordenador, ¿a qué componente podría corresponder y por qué?

# 2 De la memoria primaria a la memoria operativa: breve historia

La idea de que existe una forma específica de memoria que almacena la información temporalmente al servicio de la cognición que está ocurriendo no es nueva, pero las ideas referentes a la naturaleza y función del almacenamiento a corto plazo han evolucionado considerablemente durante los últimos cien años. Los diversos términos utilizados para designar este sistema de almacenamiento han cambiado a lo largo de los años desde *memoria primaria* a *memoria a corto plazo* y a *memoria operativa*. ¿Por qué y cómo ha sucedido esto?

## 2.1. William James: memoria primaria, secundaria y consciencia

La primera discusión sobre una distinción entre los sistemas de almacenamiento a corto plazo y a largo plazo la planteó el psicólogo pionero norteamericano William

James, a finales del siglo XIX. James llamó a estas dos formas de memoria, *memoria primaria* y *memoria secundaria,* utilizando estos términos para indicar el grado de relación de la información almacenada con la consciencia (James, 1890). En opinión de James, la **memoria primaria** es el depósito inicial en el que se puede guardar la información y donde se tiene disponible para la inspección consciente, la atención y la introspección. De este modo, dicha información estaría siempre disponible. En palabras de James: «Un objeto de la memoria primaria, por lo tanto, no se recupera: nunca estuvo perdido». Distinguió entre memoria primaria, con un sistema de almacenamiento a largo plazo, y memoria secundaria, de la cual no se puede recuperar la información sin iniciar un proceso cognitivo activo. El eslabón entre memoria operativa y consciencia que James pretendía describir sigue siendo una parte esencial de gran parte del pensamiento actual; la cuestión de si somos o no conscientes de todo el contenido de la memoria operativa está, aún, abierta al debate. Algunos modelos actuales sugieren que tan sólo un subconjunto de la memoria operativa se experimenta de forma consciente (Cowan, 1995).

## 2.2. Estudios iniciales: características de la memoria a corto plazo

Pese a la existencia de los trabajos preliminares de James referentes al sistema de almacenamiento a corto plazo de la información, no se realizaron estudios experimentales de las características de este sistema hasta la década de los cincuenta. Parte de la razón de este descuido fue el predominio del enfoque conductista en la primera mitad del siglo XX, el cual desplazó el foco de atención de las investigaciones lejos de los estudios cognitivos. Entonces, George Miller, un teórico cognitivo pionero e influyente, aportó pruebas detalladas de que la capacidad de almacenamiento de la información a corto plazo es limitada. En lo que resultó ser uno de los párrafos iniciales más provocativos de un artículo de Psicología cognitiva, Miller decía: «Mi problema es que he sido perseguido por un número entero... su cifra me ha seguido dondequiera que fuera, se ha introducido en mis datos más privados y me ha asaltado desde las páginas de los periódicos más conocidos. Dicha cifra adopta una serie de disfraces, unas veces se hace algo mayor y otras algo menor de lo habitual, pero nunca cambia tanto como para ser irreconocible». (Miller, 1956, p. 81). En su artículo titulado «El mágico número siete, más o menos dos» («The Magical Number Seven, Plus or Minus Two») Miller apuntó que las personas sólo pueden mantener unos siete elementos activos en el almacén a corto plazo y que esta limitación influye en la ejecución de una amplia serie de tareas mentales.

¿Qué datos apoyaban la afirmación de Miller? Pruebas de memorización a corto plazo, como repetir una serie de dígitos, demostraron que independientemente de cuán larga sea la serie, la recuperación correcta de los dígitos parece tener un límite: aproximadamente, siete elementos (aunque en algunas personas este valor límite puede ser algo mayor o menor; Guilford y Dallenbach, 1925). Miller hizo otra, y crítica, observación: que aunque hay una limitación en el número de elementos que se pueden mantener simultáneamente en la memoria a corto plazo, la definición de «elemento» es muy flexible y está sujeta a manipulación. En concreto, Miller (1956) sugirió que pueden agruparse elementos simples en unidades de organización de mayor nivel, a las cuales llamó **agrupaciones** (*chunks*[3]). Así pues, se podrían agrupar tres dí-

[3] Literalmente, trozos, o formar con trozos. (*N. del T.*)

gitos simples para formar una unidad de tres dígitos: 3, 1, 4 se convierte en 314. ¿Qué determina cuánta información se puede agrupar? Miller sugirió que la agrupación debería regirse por el significado. Por ejemplo, si los números 3, 1, 4 se refieren a su código postal, es un proceso muy natural almacenarlos juntos como una agrupación. Este proceso de agrupamiento parece estar omnipresente en el lenguaje, en el que agrupamos sin esfuerzo grupos de letras en «agrupaciones palabra» y de palabras en «agrupaciones frase». En realidad, esto podría deberse a que nuestra capacidad de mantener información en el almacén a corto plazo es mejor para la información verbal que para otros tipos de información.

La noción clave de la idea de Miller respecto a las agrupaciones es que el almacenamiento a corto plazo, aunque posiblemente esté sujeto a ciertas constricciones, no es rígido sino sensible a estrategias, tales como agrupar, que pueden ampliar su capacidad. Esta noción sigue estando muy presente en el pensamiento actual sobre la memoria operativa. En cualquier caso, aunque la noción de un «número mágico» forma aún parte de las ideas actuales referentes a la capacidad de almacenamiento a corto plazo, recientemente se ha sugerido que este número podría no ser en realidad $7 \pm 2$, como sugirió Miller, sino quizá mucho menor ($3 \pm 1$). Esta estimación a la baja proviene de estudios que sugieren que la capacidad de almacenamiento es mucho menor que siete cuando se impide que los sujetos utilicen estrategias tales como la agrupación o el ensayo (Cowan, 2001).

El trabajo de Miller (1956) llevó la atención al concepto de almacenamiento a corto plazo y sus características funcionales. Sin embargo, otros datos influyentes que sugieren la distinta naturaleza del sistema de almacenamiento a corto plazo proceden del estudio de pacientes con amnesia que, al igual que H. M. (véase el Capítulo 5), manifestaban un grave deterioro de la memoria a largo plazo, pero un rendimiento casi intacto en tareas de recuerdo inmediato (Baddeley y Warrington, 1970; Scoville y Milner, 1957). Como consecuencia, surgió el acuerdo de que el almacenamiento a corto plazo era distinto, estructural y funcionalmente, del almacenamiento a largo plazo y podría estudiarse independientemente. En particular, parecía que la **memoria a corto plazo**, como se empezó a llamar a esta capacidad, sólo se podía definir en términos de su corta duración y alto nivel de accesibilidad. Durante las décadas de los cincuenta y los sesenta se dedicó mucha investigación a examinar estas características.

### 2.2.1. Breve duración

Una idea básica respecto a la memoria a corto plazo era que sólo se podría disponer de la información durante un período muy breve de tiempo si no se repetía mentalmente. Se ideó una técnica experimental de estudio de la memoria a corto plazo, llamada **tarea de Brown y Peterson,** para comprobar esta idea (Brown, 1958; Peterson y Peterson, 1959). Por norma general, se les presentaba a los sujetos una tanda de tres consonantes que tenían que memorizar y luego se impedía que la repitieran mentalmente (es decir, que se recitaran las consonantes a sí mismos), por ejemplo, pidiéndoles que contaran desde 100 hacia atrás de tres en tres. Después de demoras de diversa duración, se les pedía a los sujetos que recordaran la tanda de consonantes. Evaluando la relación entre la exactitud del recuerdo y el intervalo de demora se evidenció la evolución temporal del olvido. Tras un intervalo tan corto como seis segundos, la exactitud del recuerdo disminuía hasta un 50% y el recuerdo era casi nulo a los 18 segundos (Figura 6-2). Estos hallazgos indicaban la brevedad del almacenamiento a

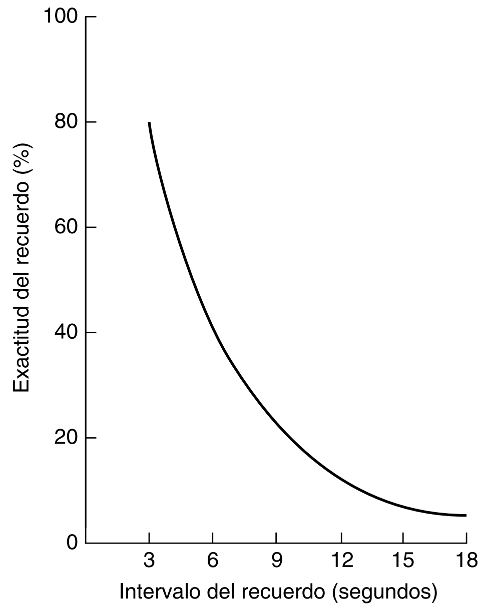



**FIGURA 6-2** Recuerdo a corto plazo relacionado con el intervalo de demora en la tarea de Brown y Peterson

Por lo general, la exactitud del recuerdo de tandas cortas de consonantes disminuye aproximadamente a un 50% a los 6 segundos y casi a cero a los 18 segundos si se impide el repaso mental.

(Peterson, L. R. y Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal ítems. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 193-198. Fig 3, p. 195 [Adaptada])

corto plazo. (En esta época también se estaban realizando investigaciones acerca de una forma aún más breve de almacenamiento —llamada *memoria sensorial*—, que sirve para guardar una representación perceptiva de un estímulo y persiste sólo unos cien milisegundos después de que haya desaparecido la señal sensorial; Sperling, 1960).

Sin embargo, en los trabajos siguientes surgió una controversia sobre si el olvido de la información se debía realmente a un declive pasivo con el tiempo o más bien a la interferencia con alguna otra información almacenada previamente (controversia similar a la referente a la memoria a largo plazo, que se discutió en el capítulo anterior). Los argumentos a favor del papel de la interferencia fueron reforzados por el hecho de que el rendimiento del recuerdo de los sujetos tendía a ser mucho mejor en los primeros ensayos de la tarea (cuando la interferencia proactiva procedente de ensayos anteriores aún no se había construido). Por otra parte, si se insertaba un ensayo que examinara la memoria de un tipo de información diferente al que se buscaba en los ensayos previos (por ejemplo, si se cambiaba de consonantes a vocales), el rendimiento del recuerdo de los sujetos aumentaba considerablemente en el ensayo insertado (Wickens *et al.*, 1976). El debate acerca de si la información desaparece de la memoria a corto plazo debido al decaimiento, además de la interferencia, aún no se ha resuelto y la cuestión se sigue estudiando hoy en día (Nairne, 2002).

## 2.2.2. Pronta accesibilidad

El alto nivel de accesibilidad a la información almacenada en la memoria corto plazo se demostró en una serie de estudios clásicos dirigidos por Saúl Sternberg (1966,

1969a), ya revisados en el Capítulo 1. Vemos ahora estos hallazgos con más detenimiento. Una cantidad variable de elementos, tales como dígitos (la serie de memoria), se presentaron brevemente a sujetos en el inicio de un ensayo y luego se retiraron durante un intervalo de tiempo mínimo. Después de ese intervalo, apareció un elemento de prueba y los sujetos debían indicar si dicho elemento coincidía o no con uno de la serie de memoria. El tiempo que se requería para responder debería reflejar la suma de cuatro cantidades: (1) el tiempo requerido para procesar perceptivamente el elemento de prueba, (2) el tiempo requerido para acceder a un elemento en la memoria a corto plazo y compararlo con el elemento de prueba, (3) el tiempo requerido para tomar una decisión de respuesta binaria (coincide-no coincide) y (4) el tiempo requerido para ejecutar la respuesta motora necesaria. Sternberg planteó la hipótesis de que cuando se aumentaba el número de elementos de la serie de memoria, la segunda cantidad —el tiempo total que se requería para el acceso y la comparación— se debería incrementar linealmente con cada elemento adicional, pero las otras tres cantidades deberían mantenerse constantes. Por lo tanto, la hipótesis de Sternberg defendía que cuando se representa gráficamente la relación entre el tiempo de respuesta y el número de elementos de la serie de memoria, el resultado debería ser una línea recta. Además, la pendiente de dicha línea debería revelar el tiempo medio necesario para acceder a y comparar un elemento que se mantiene en la memoria a corto plazo. Los resultados fueron los que se esperaban —los datos del gráfico formaban una línea recta casi perfecta y la pendiente indicaba un tiempo de «acceso más comparación» de aproximadamente 40 milisegundos (véase la Figura 6-3)—. La hipótesis de que se puede acceder rápidamente a la información que se mantiene en la memoria a corto plazo se vieron confirmadas, sin duda, por estos hallazgos.

No obstante, en investigaciones más recientes se ha cuestionado el supuesto fundamental en el que se basaba la interpretación que hizo Sternberg de los resultados de dicho experimento: que la exploración de la memoria a corto plazo procede de mane-

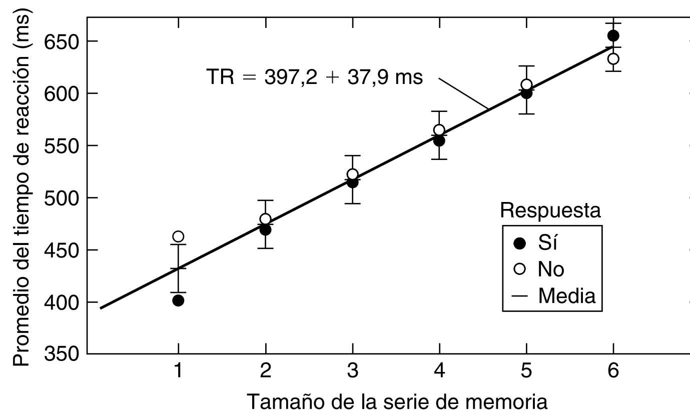



**FIGURA 6-3** Tiempo de reconocimiento relacionado con el tamaño de la serie de memoria en la tarea de Sternberg de reconocimiento de elementos

A medida que aumenta la cantidad de elementos a memorizar —el tamaño de la serie de memoria— de uno a seis, el tiempo para evaluar un elemento de prueba aumenta de forma lineal, dándose un aumento de unos 40 milisegundos por cada elemento adicional en el conjunto. La gráfica muestra la mejor aproximación lineal para los datos obtenidos. Esta recta sigue muy de cerca a los valores reales.

(Sternberg, S. (1969). The discovering processing stages: Extension of Donder's method in W. G. Koster (ed.), *Attention and Performance II.* Amsterdam: North-Holland.)

ra secuencial, elemento a elemento. En particular, como se vio en el Capítulo 1, las sofisticadas técnicas de diseño de modelos matemáticos muestran que curvas lineales similares se pueden encontrar en procesos de exploración en paralelo que acceden a todos los elementos simultáneamente. En alguno de estos modelos, el aumento del tiempo de respuesta se debe a la disminución de la eficacia del proceso paralelo según aumenta la cantidad de elementos que se mantienen en la memoria a corto plazo (McElree y Dosher, 1989; Townsend y Ashby, 1983). Pero, aún cuando se asume la exploración en paralelo, el tiempo necesario para acceder a la información en la memoria a corto plazo es, de hecho, muy breve. Por lo tanto, incluso las explicaciones más recientes conservan la idea básica de que se puede acceder muy rápidamente a la información que se mantiene en la memoria a corto plazo.

## 2.3. Modelo de Atkinson y Shiffrin: relación entre la memoria a corto plazo y la memoria a largo plazo

La noción de que la memoria a corto plazo y la memoria a largo plazo son modos distintos de almacenar la información se elaboró más en el modelo propuesto por Richard Atkinson y Richard Shiffrin (véase la Figura 6-4) (Atkinson y Shiffrin, 1968). En este modelo, la memoria a corto plazo actúa como puerta de entrada por la cual la información puede tener acceso a la memoria a largo plazo. La función de la memoria a corto plazo es proporcionar un medio de controlar y mejorar, mediante estrategias de ensayo y codificación (como la agrupación), la información que la constituye formando la memoria a largo plazo. El **modelo de Atkinson y Shiffrin** tuvo gran repercusión debido a que estableció un enfoque comprensible del procesamiento de la información en la memoria. Reconociendo el concepto estadístico de moda, este modelo se conoce todavía como **modelo modal** de la memoria, el modelo que se cita con mayor frecuencia.

Hoy en día, el modelo modal no tiene la influencia que tuvo y muchos psicólogos están a favor de una concepción diferente del almacenamiento a corto plazo, uno que no se centre exclusivamente en su relación con el almacenamiento a largo plazo e incluya un papel más dinámico que tan sólo el almacenamiento. Este cambio se vio reflejado en un mayor uso del término «**memoria operativa**», que capta mejor la idea de que un sistema de almacenamiento temporal podría aportar un útil espacio operativo en el cual realizar actividades cognitivas complejas.

¿Qué motivó este cambio de perspectiva? Por un lado, se debió a un motivo: el modelo de Atkinson y Shiffrin es básicamente secuencial: la información pasa por la memoria a corto plazo antes de ingresar en la memoria a largo plazo. Pero los datos neuropsicológicos indicaban que este supuesto no es correcto. Algunos pacientes con daño cerebral (por lo general, en el lóbulo parietal) que manifestaban un drástico deterioro de la memoria a corto plazo podían, no obstante, almacenar nueva información en la memoria a largo plazo de un modo comparable al de las personas sin enfermedad neurológica (Shallice y Warrington, 1970). Este hallazgo demostró que la información puede lograr acceder al sistema de memoria a largo plazo incluso cuando el sistema de memoria a corto plazo haya sufrido un grave daño. El modelo de Atkinson y Shiffrin no pudo justificar este resultado: conforme a dicho modelo, si la memoria a corto plazo no funciona adecuadamente, el almacenamiento a largo plazo debería ser deficiente.

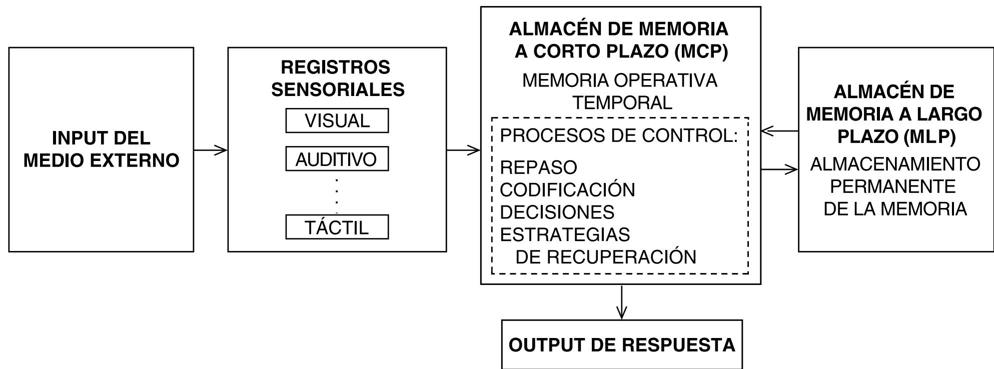



**FIGURA 6-4** Modelo de memoria propuesto por Atkinson y Shiffrin

Este modelo, también llamado modelo modal, sugiere que el flujo del *input* sensorial a la memoria a largo plazo ha de pasar primero por la memoria a corto plazo. La información sobre el entorno se registra mediante los receptores sensoriales —visuales, auditivos, hápticos (relativos al tacto) y otros— y pasa a la memoria a corto plazo. Aquí la información se repasa mentalmente o se manipula de cualquier otro modo antes de acceder a la memoria a largo plazo; también en este caso existen estrategias para recuperar la información de la memoria a largo plazo.

(R. C. Atkinson y R. M. Shiffrin, «The control of short-term memory». *Scientific American*, Aug. 1971, Vol. 225, N° 2. Reimpreso con autorización.)

Otra línea de evidencia proviene de los experimentos comportamentales con personas sin enfermedad neurológica, los cuales sugieren que no hay un único sistema para el almacenamiento a corto plazo sino que existen varios. Alan Baddeley y Graham Hitch (1974) pidieron a sujetos que tomaran decisiones simples «cierto» o «falso» sobre letras dispuestas espacialmente. Por ejemplo, si se les mostraba «B A», tenían que decidir si el juicio «B no sigue a A» era cierto o falso. Antes de cada ensayo se les presentaba *asimismo* a los sujetos una tanda de seis a ocho dígitos (que, según Miller, deberían colmar la capacidad de la memoria a corto plazo) que debían repetir inmediatamente después de cada tarea «cierto-falso». Si el almacenamiento en la memoria a corto plazo fuera crítico para realizar tareas cognitivas complejas y sólo pudiera disponerse de un almacén a corto plazo, entonces la ejecución de la tarea de razonamiento debería resultar perjudicada drásticamente al añadirse la tarea de memorización de dígitos. Pero no fue así. Los sujetos precisaron algo más de tiempo para responder a las preguntas, pero no cometieron más errores cuando mantuvieron también la cadena de dígitos en la memoria a corto plazo. Basándose en estos resultados, Baddeley y Hitch argumentaron que existen múltiples sistemas disponibles para el almacenamiento a corto plazo y que estos sistemas de almacenamiento están coordinados por la acción de un sistema de control central que gestiona de forma flexible la distribución en la memoria y el equilibrio entre procesamiento y almacenamiento.

## 2.4. Modelo de Baddeley y Hitch: memoria operativa

El concepto dinámico de «memoria operativa» —en contraposición a la naturaleza pasiva de un simple almacenamiento de información— es el núcleo del **modelo de Baddeley y Hitch**, un sistema que consta de dos almacenes a corto plazo y un sistema de control. Hay tres importantes características que diferencian de este modelo del de Atkinson y Shiffrin.

En primer lugar, la función del almacenamiento a corto plazo en el modelo de Baddeley y Hitch no es básicamente el de una estación de paso de la información en ruta a la memoria a largo plazo. En vez de ello, la función primordial del almacenamiento a corto plazo es permitir actividades cognitivas complejas que requieren integración, coordinación y manipulación de múltiples *bits* de información representada mentalmente. Así, en el problema de razonamiento «A-B» presentado antes, la memoria operativa se precisa para (1) mantener una representación mental de las dos letras y la relación espacial que existe entre ellas, (2) proporcionar un espacio operativo para analizar el juicio «B no sigue a A» y decidir si eso implica que «A sigue a B» y (3) permitir la comparación entre las representaciones mentales de las letras y el juicio.

En segundo lugar, en el modelo de Baddeley y Hitch existe una relación esencial entre un sistema de control —el **ejecutivo central**—, que rige la expulsión y la retirada de información del almacenamiento a corto plazo, y los *buffers* de almacenamiento en sí mismos. Este estrecho nivel de interacción es lo que posibilita que los almacenes a corto plazo sirvan de espacios operativos eficaces para los procesos mentales.

En tercer lugar, el modelo propone (tal y como está implícito en lo anterior), al menos dos *buffers* de memoria a corto plazo distintos, uno para la información verbal (el **bucle fonológico**) y otro para información visuoespacial (el **bloc de notas visuoespacial**). Ya que estos almacenes a corto plazo son independientes, se da una mayor flexibilidad en el almacenamiento de la memoria. Así, aun cuando un *buffer* se esté dedicando a almacenar información, todavía puede utilizarse el otro para una total eficacia. El hecho de que estos sistemas de almacenamiento estén supervisados por un ejecutivo central sugiere que la información puede transferirse rápidamente entre los dos almacenes y éstos pueden coordinarse entre ellos.

Estos tres componentes del modelo de Baddeley y Hitch interactúan para proporcionar un espacio operativo de conjunto para la actividad cognitiva (véase la Figura 6-5). Si aplicamos los términos del modelo de Baddeley y Hitch a la tarea «A-B», el bucle fonológico se ocupaba de almacenar los dígitos y el bloc de notas visuoespacial hacía gran parte del trabajo cognitivo al evaluar las relaciones espaciales en la tarea «cierto-falso». La coordinación la facilitaba el ejecutivo central, que transformaba la información de la lectura del juicio (esencialmente, en el almacén verbal) en una imagen visual en el bloc de notas visuoespacial. Estas interacciones significaban que la ejecución de la tarea de razonamiento no disminuía mucho cuando se añadía la tarea de memorización de dígitos.

El modelo de Baddeley y Hitch fue un importante punto de partida para las primeras teorías sobre la memoria a corto plazo en cuanto que no hacía énfasis en su duración ni en su relación con la memoria a largo plazo, sino más bien en su flexibilidad y su importancia decisiva para la cognición que está ocurriendo. En los años




**FIGURA 6-5** Modelo de memoria operativa propuesto por Baddeley y Hitch

Dos *buffers* de almacenamiento distintos, uno para la información verbal y otro para la visuoespacial, interactúan con un controlador ejecutivo central.

(Baddeley, A. D. y Hitch, G. J. (1974). Working memory. En G. Bower (ed.), *The Psychology of learning and motivation* (Vol. VIII, pp. 47-89). New York: Academic Press. Reimpreso con autorización de Elsevier.)

transcurridos desde sus primeros trabajos sobre este modelo, Alan Baddeley ha sido una figura ilustre en las investigaciones acerca de la memoria operativa al continuar profundizando en la concepción inicial del modelo de la memoria operativa y proporcionar una gran cantidad de apoyo experimental para su validez y utilidad.



*Control de comprensión*



1. ¿Qué datos sugieren que se puede acceder rápidamente a la información que reside en la memoria a corto plazo?
2. ¿Qué distingue al modelo de Baddeley y Hitch de la memoria operativa del modelo de Atkinson y Shiffrin?

# 3 Comprender el modelo de memoria operativa

La idea que tenía Baddeley de la memoria operativa todavía tiene gran influencia y sirve de fuente de una enorme cantidad de investigación. La idea inicial de un controlador central que interactúa con *buffers* de memoria a corto plazo dobles se ha mantenido durante años y el trabajo de una serie de investigadores ha desarrollado más ciertos aspectos del modelo. En particular, se ha investigado exhaustivamente el almacenamiento en la memoria operativa verbal —el bucle fonológico—, debido a que gran parte de la cognición de cada día (¡especialmente en el caso de los estudiantes y los docentes universitarios!) parece basarse en esa función cognitiva.

## 3.1. El bucle fonológico: cuándo funciona y cuándo no

Lea para sí mismo los dígitos que figuran más abajo y luego, inmediatamente, cierre los ojos e intente recordarlos en silencio. Pasados unos cuantos segundos, repítalos en voz alta.

7 5 9 4 1 3 2

¿Qué ha hecho para recordar los números correctamente? No es una coincidencia que haya siete números en la serie. Esta demostración pretende imitar la experiencia habitual de escuchar y recordar un número de teléfono.

¿Cómo realizó la tarea? Muchas personas dicen que cuando leen los dígitos en silencio los «escuchan» en su cabeza con el sonido de su propia voz. Luego, cuando cierran los ojos, «repasan» los sonidos, repitiéndose las palabras a sí mismos en silencio. Parece ser que la experiencia subjetiva es la de decir los dígitos «en la propia mente». ¿Coincide esta experiencia con la suya?

La idea de que la memoria operativa verbal implica tanto un «oído de la mente» (que escucha los dígitos cuando se leen) como una «voz de la mente» (que los repite cuando se repasan) es fundamental en el pensamiento actual sobre el bucle fonológico. Se ha propuesto que el sistema del bucle fonológico implica dos subcomponentes: un *almacén fonológico* y un proceso de *ensayo articulatorio* (Baddeley, 1986). Cuando se codifica la información verbal presentada visualmente, la información se trans-

forma en un código basado en el sonido o código «auditivo- fonológico». Este código es algo parecido a una caja de ecos interna, un depósito de sonidos que reverberan brevemente antes de desvanecerse. Para prevenir que decaigan por completo, un proceso activo ha de refrescar la información, y aquí es donde interviene la idea de un «bucle». Esa renovación activa llega a través de un **ensayo articulatorio**, según se pronuncian internamente los sonidos que se han escuchado internamente. (El proceso parece muy similar a nuestra capacidad de «seguir de cerca»; esto es, repetir rápidamente algo que acabamos de oír, con independencia de que lo entendamos o no —un indicio de que el bucle fonológico puede estar involucrado en el aprendizaje de un idioma—). Una vez que la información verbal se ha dicho internamente mediante la «voz de la mente» durante el ensayo mental, puede volverse a oír con el «oído de la mente» y guardarse en el **almacén fonológico**. De este modo, un bucle continuo actúa durante el tiempo necesario para que el material verbal se mantenga en la memoria operativa. El primer paso del proceso —traducción a un código fonológico— sólo se requiere, por supuesto, para el material que se presenta visualmente. Para información auditiva, como el habla, el acceso inicial al almacén fonológico es automático.

Dicha idea surge espontáneamente, dado que la experiencia de este tipo de ensayo mental parece ser universal y esto ha sido parte de su atractivo. Por ejemplo, en nuestra conversación sobre la película, es probable que estuviéramos utilizando el bucle fonológico para ensayar mentalmente los comentarios clave que queríamos hacer y utilizando este sistema al mismo tiempo para ayudar al procesamiento de las palabras de nuestra amiga.

Es significativo que esta descripción del bucle fonológico que compone la memoria operativa verbal incluya un cierto número de características que deberían poderse comprobar. En primer lugar, las capacidades de memoria operativa verbal deberían depender del nivel de dificultad de tanto el «procesamiento fonológico» (traducir la información verbal a un código basado en el sonido) como el «procesamiento articulatorio» (traducir la información verbal a un código basado en el habla). En segundo lugar, puesto que la memoria operativa es flexible, el rendimiento en tareas de memoria operativa verbal no se alterará fatalmente si por algún motivo no se puede utilizar el bucle fonológico: en dicho caso otros componentes, el ejecutivo central y el bloc de notas visuoespacial, contribuyen al proceso. Así, en nuestra conversación sobre la película, si el procesamiento verbal de las ideas de su amiga utiliza temporalmente demasiada capacidad del bucle fonológico, hemos de ser capaces de utilizar el bloc de notas visuoespacial para ensayar nuestras ideas, posiblemente valiéndonos de imágenes mentales —formándonos una imagen mental de nuestras ideas más que pensando en ellas en términos verbales—. En tercer lugar, el modelo del bucle fonológico sugiere que los dos componentes primarios de la memoria operativa verbal —el almacén fonológico y el ensayo articulatorio— se sirven de dos sistemas que funcionan independientemente y que, por lo tanto, deben poderse disociar. Todas estas hipótesis se han sometido a prueba en experimentos y todas ellas han sido respaldadas por los datos.

Estudios comportamentales sugieren que factores fonológicos y articulatorios afectan significativamente al rendimiento en memoria operativa verbal. Un ejemplo es el **efecto de similitud fonológica:** cuando han de recordarse en serie elementos almacenados simultáneamente en la memoria operativa, el rendimiento es significativamente peor cuando los elementos que se han de mantener en la memoria son similares desde el punto de vista fonológico —esto es, cuando tienen un sonido parecido (Conrad y Hull, 1964)—. Se piensa que este efecto se debe a las confusiones que surgen cuando

códigos basados en sonidos similares se activan para diferentes elementos del bucle fonológico. Este hallazgo se puede apreciar con facilidad de modo informal. Intente el lector retener estas dos tandas de letras en la memoria operativa, una después de otra:

D B C T P G    K F Y L R Q

En la primera tanda, todas las letras acaban con el sonido «e»; en la segunda lista, todas suenan de modo diferente. ¿Cuál le ha parecido más fácil de recordar y repetir? En estas tareas, el error habitual es sustituir un elemento por otro fonológicamente similar.

La otra parte del bucle fonológico, el procesamiento articulatorio, o el «habla» de los elementos presentados por la voz interior, se refleja en el **efecto de la longitud de la palabra**. El rendimiento en una tarea de recuerdo es peor cuando los elementos que se han de mantener son palabras largas, como *universidad, individual* y *operacional*, que cuando son palabras cortas como *dado, casa* y *freno*. Puede que el factor clave no sea el número de sílabas *per se*, sino más bien el tiempo que lleva pronunciarlas. Así, en inglés, el rendimiento es peor en el caso de palabras de dos sílabas que contienen sonidos de vocales largas, como *harpoon* y *voodoo*, que en el de palabras de dos sílabas que contienen sonidos de vocales cortas, como *bishop* y *wiggle* (Baddeley *et al*., 1975)[4]. El modelo del bucle fonológico explica el efecto de longitud de la palabra mediante el supuesto de que el tiempo de pronunciación afecta a la velocidad del ensayo mental en silencio, el cual requiere un procesamiento basado en el habla. Cuanto más tiempo lleva ensayar un conjunto de elementos en la memoria operativa, más probable es que estos elementos se eliminen del almacén fonológico.

La relación entre tiempo de pronunciación y rendimiento en memoria operativa se examinó posteriormente en un estudio con niños bilingües, galés e inglés (Ellis y Hennelly, 1980). Los nombres de los dígitos en galés tienen el mismo número de vocales que sus equivalentes en inglés, pero generalmente tienen sonidos de vocales largas y, por lo tanto, se tarda más tiempo en pronunciarlos. Como se esperaba, al realizar pruebas de amplitud de memoria de dígitos (*digit span*) en galés, los niños obtuvieron puntuaciones significativamente por debajo de la media. Al realizar las mismas pruebas en inglés, esos mismos niños alcanzaron puntuaciones dentro del rango normal. Estudios de seguimiento han confirmado que cuanto más rápida es la velocidad del habla de un individuo, más elementos se pueden recuperar correctamente de la memoria operativa (Cowan *et al*., 1992).

¿Qué ocurre cuando se altera el modo de operar normal del bucle fonológico? El modelo de Baddeley y Hitch sugiere que el ejecutivo central y el bloc de notas visuoespacial toman el control y que con el bucle fonológico inhabilitado, la similitud fonológica y la longitud de la palabra ya no deberían influir sobre la memoria operativa. ¿Se puede comprobar esta hipótesis? Sí, mediante experimentos basados en la interferencia de la tarea doble. Se les pidió a los sujetos que retuvieran en la memoria operativa palabras presentadas visualmente mientras que al mismo tiempo pronunciaban un discurso manifiesto e irrelevante, una tarea que interfiere el procesamiento fonológico y el ensayo mental de la información. (Imaginemos que en nuestra conversación sobre películas, mientras intentábamos retener en la mente los comentarios que queríamos hacer, teníamos además que decir en voz alta una y otra vez la palabra «*el*». Se puede ver fácilmente que tales condiciones podrían hacer casi imposible repa-

[4] Algo similar sucede en español con las palabras «huevo» y «hubo» o «visión» y «visón». (*N. del T.*)

sar mentalmente los pensamientos.) En esas condiciones, llamadas condiciones de **supresión articulatoria**, el rendimiento se ve disminuido de forma significativa, aunque no desastrosa (lo que demuestra que aunque la memoria operativa esté perjudicada en parte, aún sigue en funcionamiento). Pero lo que es más grave, ya no se dan el efecto de similitud fonológica ni el de longitud de la palabra —como se había pronosticado, dado que se piensa que estos efectos se deben al bucle fonológico, el cual ha quedado inservible a causa de las condiciones del experimento (Baddeley, 1986; Baddeley *et al.,* 1984)—.

Una evidencia convergente del modelo del bucle fonológico procede de los resultados de estudios de pacientes con daño cerebral. Una de ellos, P. V., era una mujer, entonces de 28 años de edad, que había sufrido un accidente cerebrovascular que dañó una gran parte de su hemisferio izquierdo, especialmente las regiones corticales que se supone están involucradas en el procesamiento del lenguaje (Basso *et al*., 1982; Vallar y Baddeley, 1984; Vallar y Papagno, 1986). A pesar de este daño, P. V. conservaba una serie de capacidades de procesamiento del lenguaje. Por ejemplo, podía percibir y comprender el discurso hablado normalmente. Pero P. V. sufría una espectacular disminución del rendimiento en tareas de memoria operativa verbal, en particular en las que implicaban información presentada auditivamente. La deficiente memoria operativa verbal auditiva de P. V. —tenía una capacidad de memoria de sólo unos dos elementos— hubiera sido de esperar si el daño cerebral hubiera afectado selectivamente al bucle fonológico; si éste fuera el caso, se habría vuelto más dependiente del bloc de notas visuoespacial cuando intentara realizar tareas de memoria operativa verbal.

Y de hecho, cuando llevaba a cabo tareas de memoria operativa verbal con elementos presentados visualmente, P. V. no mostraba signos del efecto de longitud de la palabra ni del de similitud fonológica, lo que sugiere que, en su caso, el almacenamiento estaba más relacionado con el bloc visuoespacial que con el bucle fonológico. Pero para la información que se presenta auditivamente, el bloc visuoespacial no es de mucha ayuda: la información tendría primero que procesarse fonológicamente antes de que pudiera traducirse a un código visuoespacial. Cuando realizaba tareas con palabras presentadas auditivamente, P. V. mostraba un efecto de similitud fonológica, pero no un efecto de longitud de las palabras. Esto indicaba que P. V. se veía obligada a utilizar el *buffer* fonológico —razón por la que mostraba un efecto de similitud fonológica—, pero dado que este *buffer* era defectuoso, la información no se podía transferir de forma apropiada al sistema de ensayo mental articulatorio —razón por la cual no mostraba un efecto de longitud de las palabras—.

Se ha descrito el caso de una serie de pacientes que, como P. V., tienen alteraciones selectivas auditivo-verbales de la memoria verbal a corto plazo. Tienen en común el modelo de alteraciones y el área de lesión cerebral, lo cual sugiere que en estos pacientes se ha afectado el componente de almacenamiento fonológico de la memoria operativa verbal y que este componente se localiza en la corteza parietal inferior izquierda (Vallar y Papagno, 1995).

¿Hay pruebas de que el almacenamiento y el ensayo mental son procesos funcionalmente independientes, como predice el modelo del bucle fonológico? Debería ser posible determinar la independencia funcional basándose en los modelos de funcionamiento comportamental. Si la longitud de la palabra (que afecta al ensayo mental) y la similitud fonológica (que afecta al almacenamiento) tienen como objetivo compo-

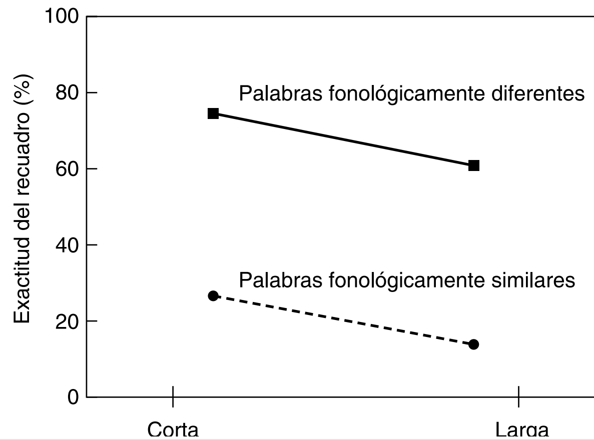



**FIGURA 6-6** Independencia de los efectos de longitud de la palabra y similitud fonológica

Se presentó a los sujetos una tarea de recuerdo inmediato de cinco palabras que o bien eran similares fonológicamente (tales como COMINO, COCINO, TOCINO, ROCINO y VINO) o bien diferentes (tales como FAMOSO, PLÁSTICO, MÁGICO, MAESTRO y ESTANCIA), que eran o bien cortas (dos sílabas) o bien largas (cuatro sílabas). Tanto la similitud como la mayor longitud de las palabras disminuyeron el grado de recuerdo, pero el paralelismo entre las pendientes de las líneas indica que los dos efectos son independientes.
(Adaptado de Longoni, A. M., Richardson, J. T. E. y Aiello, A. (1993). Articulatory rehersal and phonological storage in working memory. *Memory and Cognition, 21* (1), 11-22. Reimpreso con autorización.)

nentes independientes del bucle fonológico, entonces la manipulación de la longitud de las palabras y de la similitud fonológica no deberían interactuar una con otra. Esto es exactamente lo que han demostrado los estudios comportamentales: la magnitud del efecto de similitud fonológica en el rendimiento no está influida por la longitud de la palabra, y viceversa (véase la Figura 6-6) (Longoni *et al.*, 1993).

Por supuesto, los datos comportamentales sólo pueden suministrar un tipo de evidencia de la independencia funcional. Los resultados de estudios que consideran el cerebro proporcionan un tipo de evidencias diferente, indicando que el almacenamiento fonológico y el ensayo mental se basan en sistemas distintos.

Por una parte, estudios de pacientes con daño cerebral han puesto de manifiesto que existe una relación entre lesiones del parietal inferior izquierdo y deficiencias de almacenamiento fonológico, así como entre lesiones de la corteza frontal inferior izquierda y deficiencias en el ensayo mental articulatorio (Vallar y Papagno, 1995). (La corteza frontal inferior izquierda, también llamada área de Broca, es conocida por su implicación en el lenguaje). Por otra parte, los estudios de neuroimagen han proporcionado un medio de examinar esta relación en sujetos sin enfermedad neurológica. Estos estudios pueden revelar si estas regiones cerebrales son, de hecho, las que intervienen en condiciones de procesamiento normal. Por ejemplo, se les pidió a los sujetos de un estudio que memorizaran una serie de seis elementos presentados visualmente, bien de seis letras inglesas o bien de seis caracteres lingüísticos coreanos (ninguno de los sujetos hablaba coreano) (Paulesu *et al.,* 1993). Los investigadores supusieron que el sistema del bucle fonológico participaría manteniendo las letras inglesas, pero que no se utilizaría con los caracteres coreanos (debido a que los sonidos representados por dichos caracteres eran desconocidos para los sujetos). Este supuesto fue validado examinando los efectos de la supresión articulatoria —tal y como se es-

peraba, la supresión articulatoria dificultó el rendimiento en memoria de las letras inglesas, pero no influyó en la memoria de las letras coreanas—. Las imágenes de TEP revelaron un aumento del flujo sanguíneo en la corteza parietal inferior izquierda (relacionada con el almacenamiento) y en la corteza frontal inferior izquierda (relacionada con el ensayo mental) sólo en el caso de las letras inglesas (*véase* la Figura 6-7a del Inserto color I). Resulta interesante que también se observara activación en estructuras cerebrales asociadas con los componentes del habla de carácter motor, aún cuando la tarea no requería que los sujetos hablasen manifiestamente. Se pensó, por lo tanto, que la actividad cerebral relacionada con el habla representaba el «habla interna» o un ensayo mental subvocal.

En un segundo experimento, Paulesu y colaboradores (1993) intentaron separar las regiones asociadas con el almacenamiento fonológico de aquellas que intervienen en el ensayo mental. Pidieron a los mismos sujetos que hicieran juicios de rima de las letras inglesas, decidiendo si cada letra a su vez rimaba con la letra «B». Aquí los investigadores supusieron que la tarea de rima implicaría ensayo mental, pero no almacenamiento, y así se comprobó. En contraposición con los resultados del grupo de palabras inglesas del primer experimento, en el cual hubo un aumento del flujo sanguíneo en ambas regiones cerebrales, en esta ocasión sólo se activó la corteza frontal izquierda; la corteza parietal izquierda no mostró activación por encima de los valores iniciales (*véase* la Figura 6-7b del Inserto a color I). Así pues, los resultados comportamentales y los procedentes de estudios de neuroimagen convergen para determinar que se pueden separar los componentes de almacenamiento y de ensayo mental de la memoria operativa verbal.

En cualquier caso, otros estudios de neuroimagen sugieren un cuadro más complejo. Por ejemplo, parece ser que diferentes subregiones del área de Broca (que participa decisivamente en la producción del habla) intervienen en momentos distintos durante el período de demora en tareas de memoria operativa (Chein y Fiez, 2001). Los investigadores argumentan que la región más dorsal del área de Broca está activa tan sólo durante la primera parte del período de demora y que está involucrada en la elaboración de un programa de ensayo mental articulatorio. En contraposición, la región más ventral de la región de Broca se encuentra activa durante el resto del período de demora y está implicada en el acto de ensayo mental en sí mismo. Los estudios de neuroimagen continúan jugando un importante papel perfeccionando y remodelando el modelo de memoria operativa verbal.

La cuestión principal es cuál es la verdadera función del bucle fonológico en la cognición. ¡Seguro que no surgió precisamente para ayudarnos a retener tandas de letras o números de teléfono! Parece lógico que el bucle fonológico jugara algún papel en el procesamiento del lenguaje, ya que está tan integrado en los sistemas de producción y comprensión del lenguaje. Una hipótesis es que la memoria operativa —específicamente, el bucle fonológico— no es decisiva para la *comprensión* de una lengua conocida, pero es esencial para el *aprendizaje* de una lengua nueva (Baddeley *et al.*, 1998), un desafío que experimentan tanto los niños al aprender su primera lengua como los adultos al aprender una segunda o adquirir nuevo vocabulario. Puede que la evolución nos haya imbuido de una pericia específica para repetir lo que escuchamos, incluso si no lo entendemos inicialmente. Esta forma de imitación es algo que incluso los niños pequeños pueden hacer y puede proporcionar un medio para ayudarnos a aprender nuevas palabras, estableciendo un vínculo entre sonido y significado.

Los datos evolutivos apoyan sólidamente esta afirmación: el nivel de capacidad de los niños para repetir palabras sin significado predice sólidamente la extensión que tendrá su vocabulario un año después (Gathercole y Baddeley, 1989). La paciente P. V. demostró ser completamente incapaz de aprender un equivalente ruso de cualquier palabra de su italiano nativo pese a una práctica intensiva (Baddeley *et al.,* 1988). Pero pudo aprender nuevas asociaciones entre dos palabras en italiano, lo que indica que su capacidad general de aprendizaje estaba intacta respecto a elementos que la resultaban fonológicamente conocidos. Pero su alteración le impedía llevar a cabo el almacenamiento a corto plazo de elementos desconocidos en el aspecto fonológico (en su caso, palabras en ruso), los cuales aparentemente se necesitan para llevar a cabo el aprendizaje a largo plazo. Así pues, los datos apoyan la idea de que el bucle fonológico tiene una función básica como mecanismo para aprender el lenguaje, pero que esta funcionalidad se puede explotar para sustentar una amplia serie de tareas de memoria operativa verbal.

## 3.2. El bloc de notas visuoespacial

Pensemos en una habitación que nos resulte familiar (¡no en la que estamos ahora!) ¿Qué objetos hay en las paredes? Nombrémoslos en orden empezando por la puerta y moviéndonos alrededor de la habitación en el sentido de las agujas del reloj. Ahora, preguntémonos a nosotros mismos: ¿He hecho esto «mirando la habitación con los ojos de la mente»? Si ha sido así, acabamos de implicar a nuestro bloc visuoespacial.

Se piensa que la capacidad de elaborar, inspeccionar y desplazarnos por una imagen mental es una función trascendental de la memoria operativa visuoespacial. (Para un examen más profundo de las imágenes mentales, véase el Capítulo 4). Un estudio experimental clásico investigó esas funciones de la memoria pidiendo a los sujetos que respondieran a preguntas sobre una letra mayúscula trazada a grandes rasgos (véase la Figura 6-8a) (Brooks, 1968). Se enseñó a los sujetos a formar una imagen mental de una letra y luego moverse a su alrededor. En cada esquina debían responder sí o no a la pregunta de si esa esquina estaba en el extremo superior o en el inferior de la letra. A fin de comprobar si los sujetos estaban utilizando representaciones visuoespaciales para realizar la tarea, se les pidió a algunos sujetos que señalasen la palabra SÍ o NO que estaba impresa de forma irregular en una página, y a otros se les pidió que dijeran las palabras «sí» o «no». La hipótesis era que si la decisión de clasificación dependía de representaciones visuoespaciales, entonces requerir que señalasen —una respuesta también visuoespacial— interferiría el rendimiento en la tarea. Esto es exactamente lo que se encontró: los sujetos necesitaron casi el triple de tiempo para realizar la tarea cuando tenían que señalar para responder que cuando tenían que responder verbalmente (véase la Figura 6-8b).

Estos resultados y los de otros muchos estudios que les sucedieron, sugieren que la navegación mental es un proceso esencialmente espacial (Logie, 1995). La experiencia subjetiva de mover el ojo de la mente de una localización espacial a otra sugiere asimismo la posibilidad de que la memoria operativa visuoespacial dependa de sistemas cerebrales que planifican los movimientos de los ojos (o, posiblemente, de otras partes del cuerpo), del mismo modo que la memoria operativa verbal depende de sistemas cerebrales implicados en la planificación del habla (Baddeley y Lieberman, 1980). Resulta interesante que este sistema de planificación del movimiento podría ser también la base de la repetición o **ensayo mental espacial**, el proceso mediante el cual se re-

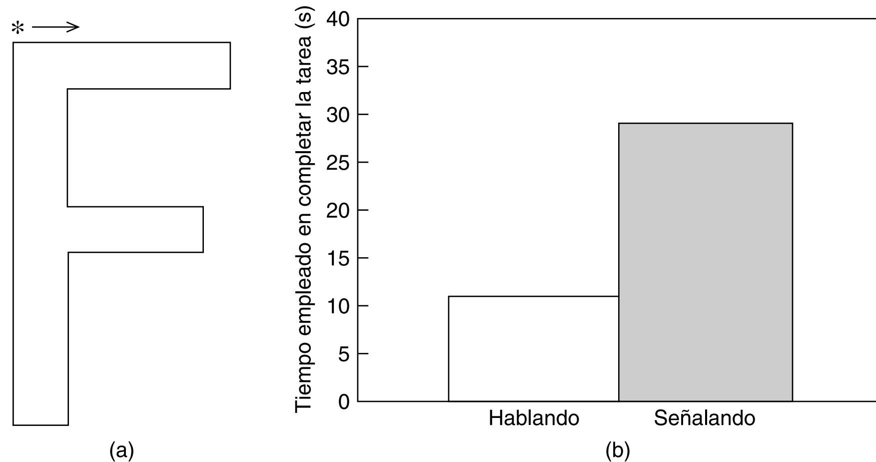



**FIGURA 6-8** Imágenes visuoespaciales y tarea de interferencia

(a) Cuando los sujetos navegaron mentalmente en torno a la figura, comenzando en el asterisco, tenían que responder sí o no a preguntas relativas a cada esquina que alcanzaban. (b) El tiempo requerido para responder fue considerablemente mayor cuando los sujetos tenían que señalar un SÍ o un NO impreso que cuando respondían verbalmente, lo que sugiere que los movimientos espaciales interferían la navegación mental.

(Brooks, L. R. (1968). Spatial and verbal components in the act of recall. *Canadian Journal of Psychology, 22*, 349-368).

frescan mentalmente las localizaciones almacenadas para mantenerlas suficientemente accesibles. La idea es que cuando repasamos mentalmente en la memoria operativa localizaciones espaciales (pensemos en cuando visualizamos mentalmente direcciones de conducción para girar a la izquierda en la próxima esquina y después a la derecha en el semáforo), de hecho estamos utilizando los mismos sistemas que nos ayudarían a mover los ojos o el cuerpo hacia esa dirección. Y así como el ensayo mental de la información verbal no requiere el habla real, se piensa que el ensayo mental de la información espacial no requiere movimientos reales de los ojos o del cuerpo. En vez de eso, el ensayo mental espacial puede implicar cambios *encubiertos* de atención a ubicaciones espaciales memorizadas (Awh y Jonides, 2001).

En otras palabras, del mismo modo que podemos mantener nuestra atención centrada en un lugar del espacio sin mirarlo físicamente, podríamos asimismo ser capaces de guardar en la memoria localizaciones recordadas centrando encubiertamente la atención en esas localizaciones que se recuerdan. Un ejemplo: pensemos que estamos en una fiesta hablando con un amigo, con los ojos fijos en él, mientras que también prestamos atención, mirando de soslayo, a los gestos de otro amigo que se encuentra a la izquierda.

Esta analogía nos lleva a dos predicciones concretas. Se cree que si se presta atención a una localización espacial mejora el procesamiento perceptivo en esa localización. Si los sistemas de memoria operativa espacial son los mismos que los de atención espacial, entonces mantener una localización particular en la memoria operativa espacial debería también mejorar el procesamiento perceptivo de la información visual que está presente físicamente en la localización que se recuerda. Esta predicción se examinó en el plano comportamental (Awh *et al.*, 1998). En una tarea de memoria operativa espacial, se presentaron brevemente letras individuales (las claves) en ubicaciones que iban variando en una pantalla; después de un breve intervalo de tiempo, se presentaba otra letra (la letra de prueba). En una condición experimental, los sujetos

tenían que recordar la ubicación de la clave y decidir si la letra de prueba estaba en la misma ubicación. En otra condición, era la identidad de la letra clave lo que se tenía que retener y los sujetos tenían que decidir si la letra de prueba era la misma que la letra clave. Además, durante el intervalo los sujetos tenían una segunda tarea —clasificar la forma de un objeto que aparecía en diferentes ubicaciones—. En algunos ensayos, el objeto aparecía en la misma ubicación que la letra clave que se estaba reteniendo. Se encontró que la decisión de clasificación de forma se tomaba más rápidamente cuando la localización de la forma coincidía con la de la clave, pero sólo cuando la información que se estaba reteniendo era la localización de la clave. Este resultado sugirió que retener una localización en la memoria operativa facilita la orientación de la atención a dicha localización (que es lo que mejoró la velocidad de respuesta en la tarea de clasificación de formas).

Los estudios de neuroimagen han aportado pruebas incluso más rotundas de que el ensayo mental en la memoria operativa espacial y la atención selectiva espacial se sirven de, al menos, algunos de los mismos procesos, demostrando que ambos se basan en las mismas regiones cerebrales de la corteza frontal y parietal del hemisferio derecho. Retener una localización espacial en la memoria operativa produjo un refuerzo de la actividad cerebral en las regiones de corteza visual del hemisferio opuesto, tal como se esperaba, dada la organización contralateral de esas regiones cerebrales (véase la Figura 6-9 del Inserto a color J) (Awh y Jonides, 2001; Postle *et al.*, 2004). Estos resultados sugieren que la memoria operativa espacial se efectúa reforzando el procesamiento en las regiones cerebrales que basan el procesamiento visual perceptivo de esas localizaciones.

Como implica la naturaleza compuesta de su nombre, la información procesada por el bloc visuoespacial es de dos tipos: espacial, al igual que la disposición de nuestra habitación, y visual, como la cara de un amigo o la imagen de un cuadro preferido. Parece ser que se pueden requerir diferentes tipos de código para retener esos dos tipos de información no verbal en el bloc visuoespacial. Por ejemplo, parece que tenemos la habilidad de realizar un «*zoom* de acercamiento» de imágenes tales como caras y cuadros, acentuando ciertas características (Kosslyn, 1980). Y podemos descomponer objetos en sus partes constituyentes y transformarlos. Podemos, por ejemplo, imaginar el aspecto que tendría un amigo bien afeitado si luciera barba. Estas operaciones mentales parecen ser substancialmente no espaciales, aunque sin embargo requieren una representación visual exacta para ser retenidas y manipuladas dentro de la memoria operativa. Así pues, la memoria operativa visuoespacial puede estar compuesta por dos sistemas distintos, uno para retener representaciones de los objetos visuales y otro de los espaciales.

La distinción entre procesamiento de objetos y procesamiento espacial coincide notoriamente con las observaciones relativas al sistema visual: hay una gran cantidad de pruebas que apoyan la existencia de vías neurales distintas involucradas en el procesamiento espacial y el de características visuales del objeto (respectivamente, la vía dorsal «dónde» y la vía ventral «qué») (Ungerleider y Mishkin, 1982; véase su discusión en el Capítulo 2). En monos, se ha hallado que esta distinción también se da en la memoria operativa: las neuronas de la región dorsal de la corteza prefrontal responden preferentemente a los estímulos durante la realización de tareas de memoria operativa espacial, mientras que las neuronas de la corteza prefrontal ventral responden preferentemente durante tareas de memoria operativa de objetos (Wilson *et al.*, 1993). En seres humanos, se ha observado que algunos pacientes con daño cerebral

presentan alteraciones selectivas en la realización de tareas con imágenes mentales no espaciales (por ejemplo, juzgar la forma de las orejas de un perro), pero no en aquellas que implican imágenes espaciales (por ejemplo, rotación de objetos imaginados) (Farah *et al.*, 1988). Se ha observado el modelo inverso en otros pacientes, lo que demuestra una doble disociación (Hanley *et al.*, 1991). Los estudios de neuroimagen también han demostrado a menudo disociaciones entre los sistemas cerebrales involucrados en la memoria operativa espacial y en la de objetos (Courtney *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 1995), aunque los datos sobre estas disociaciones han resultado ser más fiables respecto a la corteza posterior que a la prefrontal (la región identificada en los estudios con monos) (Smith y Jonides, 1999). Aún no se han determinado totalmente las características específicas de la memoria operativa de objetos, como si involucra o no un *buffer* de almacenamiento o un sistema de ensayo mental distinto, y la cuestión de si existe una disociación entre la memoria operativa espacial y la memoria operativa de objetos sigue siendo un tema de estudio.

## 3.3. El ejecutivo central

El componente que más distingue la idea actual de memoria operativa de las concepciones iniciales de «memoria a corto plazo» es el *ejecutivo central*. Esta parte del modelo, (1) determina cuándo la información se guarda en los *buffers* de almacenamiento; (2) determina qué *buffer* —el bucle fonológico para la información verbal o el bloc visuoespacial para la visual— se selecciona para almacenarla; (3) integra y coordina la información entre los dos *buffers;* y, lo más importante, (4) proporciona un mecanismo mediante el cual la información que se mantiene en los *buffers* se puede inspeccionar, transformar y manipular cognitivamente de cualquier otra manera. Todas estas funciones dependen del control y la distribución de la atención que realiza el ejecutivo central. El ejecutivo central determina cómo emplear los recursos cognitivos y cómo suprimir la información improcedente que podría consumir dichos recursos (Baddeley, 1986). El ejecutivo central es lo que «opera» en la memoria operativa. (Y hace aún más; de hecho, muchas de las funciones asociadas con el ejecutivo central pueden estar relacionadas sólo indirectamente con la memoria operativa en sí misma. Para un examen más detenido del papel del ejecutivo central en otros contextos, véase el Capítulo 7).

La idea de un ejecutivo central se basa en estudios que muestran una disociación entre las funciones citadas anteriormente y la operación de los dos sistemas de almacenamiento. Estas investigaciones a menudo entrañan el problema de la **coordinación de la tarea doble**, esto es, el proceso de realizar simultáneamente dos tareas distintas, cada una de las cuales por lo general implica almacenar la información en la memoria operativa. Se les dieron a sujetos dos tareas de este tipo, una visuoespacial y otra de tipo auditivo-verbal, a realizar al mismo tiempo. (Un ejemplo podría ser hacer la tarea de las «esquinas de la F», representada en la Figura 6-8 mientras se repiten rápidamente palabras). El supuesto es que gestionar la ejecución de las dos tareas requiere que se comparta el tiempo de alguna manera. Si se requiere específicamente al ejecutivo central para gestionar la coordinación —compartir el tiempo— de las dos tareas, entonces debería ser posible hallar efectos de la realización de la tarea doble además de los que se dan cuando se ejecuta cada una de las tareas por separado.

Por ejemplo, en un estudio se examinaron grupos de pacientes con alteraciones cognitivas, emparejando a pacientes en etapas tempranas de la enfermedad de Alzhei-

mer con adultos sanos de la misma edad (Baddeley *et al*., 1991). La hipótesis era que gran parte del deterioro cognitivo que manifiestan las personas en las etapas iniciales de la enfermedad de Alzheimer se debe a una disfunción del ejecutivo central. En la fase de tarea simple, los sujetos realizaron cada una de las dos tareas, una auditiva y otra visual, por separado. En la fase de tarea doble, los sujetos realizaron las dos tareas a la vez. Una importante característica del estudio era que la dificultad de cada tarea podía ajustarse para cada sujeto individualmente con el fin de permitirle alcanzar un nivel fijo de rendimiento comportamental. Puesto que todos los sujetos tuvieron el mismo nivel de exactitud en la tarea simple, ninguna disminución del rendimiento en la condición de tarea doble podía atribuirse a dificultades en la realización de la tarea simple. Los resultados indicaron claramente que los pacientes con Alzheimer eran notoriamente peores que los sujetos sanos en las condición de tarea doble. Los resultados apoyan la idea de que coordinar los requerimientos del almacenamiento requiere la participación del ejecutivo central.

Se ha explorado mediante estudios de neuroimagen, así como con estudios comportamentales, si las funciones ejecutivas se pueden distinguir de las de almacenamiento a corto plazo. Una prueba ha consistido en comparar el *mantenimiento* con la *manipulación* en la memoria operativa, contrastando la actividad cerebral que tiene lugar en tareas en las que la información sólo tiene que almacenarse brevemente y después recordarse (mantenimiento) con una tarea similar en la que la información almacenada también ha de transformarse mentalmente de algún modo (manipulación). Se observó un aumento significativo de la activación cuando los sujetos en un estudio de este tipo tenían que recordar una secuencia de letras en orden alfabético, en comparación con cuando sólo tenían que recordarlas en el orden en que se les habían presentado (D'Esposito *et al*., 1991). Y algo más: el aumento de activación se observó en las regiones dorsales de la corteza prefrontal. Este resultado, junto con otros, sugiere que diferentes partes de la corteza prefrontal llevan a cabo diferentes procesos utilizados en la memoria operativa: en concreto, el mero mantenimiento recluta la actividad de regiones ventrales de la corteza prefrontal, mientras que la información se manipula en áreas más dorsales (*véase* la Figura 6-10 del Inserto a color K) (Owen, 1997; Postle y D'Esposito, 2000). No obstante, estos puntos de vista siguen siendo controvertidos (véase el recuadro *Debate)*.

## 3.4. ¿Existen realmente dos sistemas de almacenamiento distintos?

Parece obvio que utilizamos representaciones mentales distintas para la información verbal y la visual mientras realizamos una tarea. ¿Pero, qué ocurre con el almacenamiento de dicha información?, ¿la información verbal y la visual han de mantenerse en dos *buffers* distintos, tal y como ha establecido el modelo de la memoria operativa —¿no podrían mantenerse en un solo?— Por otra parte, ¿no podría haber múltiples *buffers*, cada uno especializado en un tipo distinto de información? Una serie de teóricos han propuesto enfoques con múltiples almacenes (Miyake y Shah, 1999); esta cuestión sigue sin resolverse. Aún así, existe una gran cantidad de datos experimentales a favor de la distinción entre memoria operativa verbal y memoria operativa visuoespacial.

Muchos de los estudios comportamentales que demuestran una disociación entre los dos sistemas de memoria operativa conllevan una metodología de tarea doble y

DEBATE

## ¿Cómo se organizan las funciones de la memoria operativa en el cerebro?

El modelo de Baddeley y Hitch referente a la memoria operativa sugiere distinciones en cuanto a los *buffers* que se utilizan para almacenar diferentes tipos de información (verbal o visuoespacial) así como en cuanto a diferentes procesos de memoria operativa (almacenamiento o control ejecutivo). ¿Cómo se cartografían estas distinciones en la organización cerebral? Los datos procedentes tanto de estudios de neuroimagen en seres humanos como de estudios de registro neuronal en monos sugieren que la corteza prefrontal es un componente importante de la memoria operativa. Pese a todo, estos estudios parecen sugerir diferencias en el modo en que la corteza prefrontal está organizada con respecto a la memoria operativa.

En las investigaciones con monos, se ha encontrado que las neuronas de las áreas dorsales de la corteza prefrontal están especializadas en memoria operativa espacial, mientras que las neuronas de la corteza prefrontal ventral lo están en memoria operativa de objetos (Wilson *et al.,* 1993). Así pues, los resultados hallados en monos sugieren que la memoria operativa en la corteza prefrontal tiene una organización **basada en el contenido**; esto es, la información espacial y la del objeto se mantienen en regiones diferentes. Sin embargo, los datos de neuroimagen en seres humanos no han apoyado con fiabilidad tal distinción en la localización de la actividad de la corteza prefrontal basada en el contenido de la memoria operativa. En lugar de ello, los datos de neuroimagen han encontrado por lo general que la corteza prefrontal dorsal participa en tareas de memoria operativa que requieren manipulación además de mantenimiento, mientras que la corteza prefrontal ventral está activa incluso cuando la tarea simplemente requiere mantenimiento. Por lo tanto, se ha argumentado que los datos de neuroimagen en seres humanos apoyan una **organización basada en el proceso** (esto es, el proceso de almacenamiento y el de control ejecutivo que se llevan a cabo en diferentes regiones). La solución de la controversia aún no está clara, pero ciertos investigadores han sugerido que los dos conjuntos de hallazgos quizá no sean incompatibles (Smith y Jonides, 1999).

sus resultados demuestran la naturaleza selectiva de la interferencia con la memoria operativa. Como hemos visto, el rendimiento en la «tarea de la F» (con sujetos que tenían instrucciones de responder verbalmente o señalando) fue mejor cuando los sujetos podían responder verbalmente. Cuando los sujetos tenían que emitir juicios sobre palabras de una frase, el mejor rendimiento se dio cuando respondían señalando (Brooks, 1968). En otro estudio, se les pidió igualmente a los sujetos que juzgaran palabras de una frase, en este caso mientras seguían manualmente una luz o repetían una y otra vez la palabra *el*. La pauta de resultados fue la misma que en el caso de la tarea F: cuando la interferencia con esta tarea verbal era verbal, el rendimiento era más deficiente que cuando la interferencia era espacial (Baddeley *et al*., 1973). ¿Qué implica esto? La competición entre dos tareas verbales (o dos espaciales) perjudicó más el rendimiento, lo que es una prueba de que existen recursos o almacenes separados para cada tipo de información.

Los datos neuropsicológicos apoyan la independencia funcional y estructural de la memoria operativa verbal y la visuoespacial, tal y como se vio en el caso de P. V., cuya memoria operativa, deficiente para las palabras habladas, mejoraba de forma considerable cuando los elementos de prueba se presentaban visualmente (Basso *et al.,* 1982). P. V., y otros pacientes con un deterioro similar de la memoria operativa verbal, tenían una lesión cerebral que afectaba al hemisferio izquierdo. Se han estudiado pacientes que presentan el modelo de alteraciones opuesto —alteración selectiva de la memoria operativa visuoespacial (De Renzi y Nichelli, 1975)—; en estos casos, el daño cerebral afectaba al hemisferio derecho. Así pues, los datos neuropsicológicos son coherentes con la idea de que la memoria operativa verbal y la visuoespacial se basan en sistemas cerebrales distintos.

Por otra parte, los estudios de neuroimagen han demostrado que existe una disociación entre los dos sistemas de memoria operativa en sujetos sin enfermedad neurológica. Muchos de estos estudios han señalado asimismo un modelo en el cual la memoria operativa verbal se asocia con el hemisferio izquierdo, y la memoria operativa no verbal con el derecho (Smith *et al.*, 1996). Esto encaja con el dato general de que las funciones relacionadas con el lenguaje se asocian más con el hemisferio cerebral izquierdo, mientras que el procesamiento espacial se asocia más con el derecho. Los estudios de neuroimagen también han indicado que el cuadro podría ser un poco más complicado de lo que indican las investigaciones comportamentales y neuropsicológicas. Gran parte de las tareas de memoria operativa que se han estudiado mediante neuroimagen implican almacenamiento durante largos intervalos, seguimiento del orden temporal y mantenimiento frente a información que distrae. En estas tareas complejas, suele haber mucha superposición de las áreas cerebrales activadas por la memoria operativa verbal y visuoespacial, respectivamente (D'Esposito *et al.,* 1998; Nystrom *et al*., 2000). De modo que el cuadro es más complejo, pero no necesariamente contradictorio. Quizá, en condiciones más difíciles se reclutan todas las partes del sistema de memoria operativa a fin de realizar la tarea con mayor eficacia. Este tipo de uso flexible de los *buffers* de almacenamiento —estando controlada su utilización por el ejecutivo central— es una característica clave del modelo de la memoria operativa.



*Control de comprensión*



1. ¿Qué pruebas sugieren que la memoria operativa depende del procesamiento fonológico y del procesamiento articulatorio?
2. ¿Qué funciones de la memoria operativa se piensa que están dirigidas por el ejecutivo central?

# 4 Cómo opera la memoria operativa

Hemos echado un vistazo a los compartimentos del modelo de la memoria operativa, los cuales son los sistemas de almacenamiento y el ejecutivo central. Gran parte de la investigación aquí analizada aporta pruebas de que estos componentes son distintos y se pueden disociar. Los compartimentos pueden tener otros dentro de ellos: los componentes de los sistemas de almacenamiento verbal y visuoespacial pueden ser independientes y dentro de cada uno de estos sistemas puede haber distintos mecanismos especializados en almacenar y reactivar los elementos almacenados mediante ensayo mental. Ahora las preguntas conciernen a lo que hay dentro de las cajas del modelo: ¿*Qué* las hace funcionar?, ¿*cómo* trabajan en realidad en el cerebro esos almacenamientos y mecanismos de control?

## 4.1. Mecanismos de mantenimiento activo

Una forma de empezar es preguntar «¿cuál es la naturaleza de la representación de memoria que se almacena?» Esta pregunta ha predominado a lo largo de la historia

de la Psicología y la Neurociencia. Hoy en día hay un acuerdo generalizado en que las representaciones de memoria a largo plazo ocurren como factores que potencian (o debilitan) de modo relativamente permanente las conexiones entre poblaciones neurales. Utilizando el vocabulario de los modelos de redes neurales, podemos llamar a estos cambios **memoria basada en el peso**, dado que las representaciones de memoria toman su forma de la fuerza o peso de las conexiones neurales. Aunque las memorias basadas en el peso son estables y duraderas, no siempre somos conscientes de ellas, debido a que reflejan un cambio estructural en las vías neurales que sólo se revela cuando dichas vías son activadas por un *input*.

Parece ser que el almacenamiento a corto plazo se basa en un mecanismo diferente, al que podemos llamar **memoria basada en la actividad**, en el cual la información se retiene como una pauta de actividad sostenida o persistente en poblaciones neuronales específicas (O'Reilly *et al.*, 1999). Las memorias basadas en la actividad son más accesibles pero menos permanentes. Las señales de activación pueden propagarse continuamente a todas las neuronas conectadas entre sí, pero una vez que cambia el nivel de activación, se pierde la información que se almacenó originalmente. Pensemos en mantener un pensamiento en la mente, como el comentario que queríamos hacer en la conversación de las películas. Mientras que la información está en este estado, en nuestra memoria operativa, es fácilmente accesible y así puede influir directamente en qué palabras elegimos para hablar y en que podamos hacer nuestro comentario de un modo fluido. ¿Pero, qué sucede si en vez de ello nuestro comentario se pierde de la memoria operativa? En ese caso, tendríamos que recuperarla de la memoria a largo plazo. La información posiblemente se encuentre por allí, almacenada en el cerebro pero menos accesible, hasta que se recupera en la memoria operativa. Entretanto, es probable que nos encontremos sin palabras, incluso si tenemos la ocasión de intervenir en la conversación. Estas características encajan bien con las distinciones funcionales entre una memoria operativa rápida, *on line* y flexible, y la memoria a largo plazo, más lenta pero más permanente.

Mucho de lo que se ha aprendido respecto a cómo ocurre en el cerebro el almacenamiento basado en la actividad procede de los estudios neurocientíficos que utilizan registros neurales directos realizados en monos cuando éstos realizan tareas de memoria operativa sencillas. Un procedimiento experimental habitual es el de la **tarea de respuesta demorada**: se presenta brevemente una señal clave y, tras una cierta demora —durante la cual supuestamente la información que contiene la clave ha de mantenerse en el almacén a corto plazo—, se requiere una respuesta. Muchos de estos estudios están diseñados de modo que la respuesta se manifieste como un movimiento ocular. Se adiestra al animal mediante el sistema de recompensa para que mantenga los ojos fijos en un punto central de una pantalla. Una breve clave visual, tal como un punto de luz, aparece en una de las ocho localizaciones posibles en la pantalla, mientras que el animal sigue mirando directamente al frente. Después de un intervalo especificado, que dura entre 2 y 30 segundos, se le da al animal una señal de «adelante» para que mueva los ojos a la localización exacta en la que apareció la luz. De nuevo, esto se logra mediante adiestramiento, recompensando la respuesta correcta con comida o zumo. Puesto que la ubicación de la clave varía al azar de un ensayo a otro, el animal ha de basarse en su memoria operativa de la ubicación de la clave para poder dar la respuesta correcta.

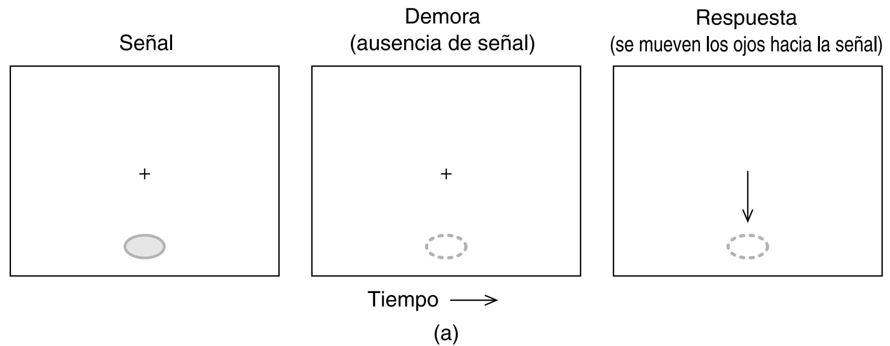
Los registros neuronales directos sugieren que la representación de la memoria operativa que se utiliza para realizar esa tarea se basa en la pauta de actividad de

neuronas individuales. En particular, se ha encontrado que ciertas neuronas de la región dorsolateral de la corteza prefrontal presentan un aumento transitorio de su nivel de actividad (registrado como un incremento de la frecuencia de disparo) durante la presentación de la clave, mientras que otras muestran un aumento de la frecuencia de disparo a lo largo del intervalo de demora (Fuster, 1989; Goldman-Rakic, 1987). Un hallazgo crucial de estos estudios fue que la actividad durante la demora fue específica para el estímulo: una neurona determinada podría mostrar activación sólo en respuesta a una clave en una localización concreta en la pantalla (véase la Figura 6-11) (Funahashi *et al.*, 1981). Estas respuestas sostenidas no se podían deber a estimulación perceptiva: no había estimulación perceptiva durante la demora.

Esta evidencia indica una interrelación. ¿Se puede reforzar para mostrar que la actividad de esas neuronas sirve realmente como una representación de la memoria operativa? Bien, ¿qué ocurre cuando el animal *no recuerda*? (es decir, no retiene la ubicación de la clave en el almacén a corto plazo). ¿Qué ocurre con la actividad en los períodos de demora que preceden a las respuestas *incorrectas*?, ¿sería esta activación menor que en los períodos que preceden a las respuestas *correctas*? Sí, en efecto; eso es exactamente lo que se observó. En los ensayos en los que se cometió un error, la activación durante la demora mostró o bien ningún cambio respecto a la frecuencia basal, o bien un declive prematuro de la actividad de las neuronas que supuestamente están codificando esa ubicación.

La evidencia es intrigante, pero sigue indicando sólo una interrelación. Los cambios en el disparo neuronal pueden reflejar un lapso en todo el cerebro de la atención o la motivación más que una pérdida especifica información. Para resolver esta duda, otros estudios con animales han intervenido directamente en el funcionamiento neural y han observado los resultados. En un estudio, se extirparon pequeñas áreas de tejido cortical en regiones de la corteza prefrontal dorsolateral después de que los animales hubieran aprendido los requisitos del experimento. Tras las lesiones, los animales respondieron correctamente a la mayoría de las localizaciones, pero fallaron estrepitosamente cuando las claves se presentaron en localizaciones que normalmente habrían sido codificadas por las neuronas de las áreas lesionadas. Las lesiones habían producido un *escotoma nemónico*, o «puntos ciegos» de memoria (Funahashi *et al.*, 1993). (El déficit comportamental no era perceptivo ni motor: los animales realizaban correctamente una tarea de control en la que la clave visual en la localización crítica se presentaba en el transcurso de toda la demora). Se han observado resultados similares en procedimientos que enfriaban las neuronas a una temperatura a la cual no funcionan con normalidad (Bauer y Fuster, 1976). Tales procedimientos de enfriamiento son importantes porque descartan los efectos debidos a un nuevo aprendizaje o una reorganización funcional consecuente a una lesión cerebral permanente. En estos estudios de enfriamiento, se ha visto que el grado de deterioro se relaciona con la duración de la demora: cuanto más largo era el período de demora, mayor era el deterioro.

¿Hay indicios también en los seres humanos de que el almacenamiento de la información en la memoria operativa ocurre mediante una actividad neural sostenida? Los registros directos experimentales de neuronas individuales normalmente no se realizan en seres humanos (aunque en ocasiones se hacen antes de aplicar procedimientos de neurocirugía necesarios desde el punto de vista médico). En vez de ello, el medio de investigación que se emplea es el estudio de neuroimagen, que también puede procurar información sobre cómo cambia la actividad neural a lo largo del tiempo y en



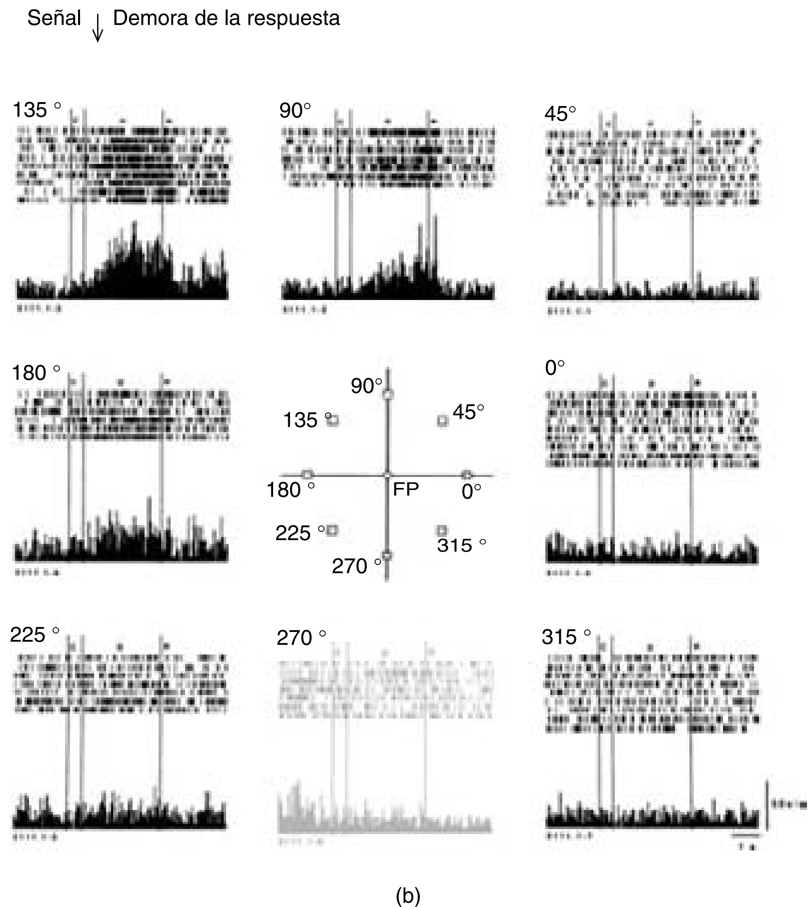




**FIGURA 6-11** Actividad neuronal en la corteza prefrontal del mono durante una tarea de respuesta demorada

(a) La tarea: una señal (la elipse gris) se presenta brevemente en una de ocho posiciones en torno al punto de fijación (el signo más). Durante un período de demora el mono ha de retener esta ubicación en la memoria operativa. Tras una señal de salida (retirada del signo más), el mono realiza un movimiento ocular hacia la ubicación que recuerda. (b) Registros del promedio de actividad de una neurona representativa perteneciente a la corteza prefrontal. Cada registro representa la actividad durante el ensayo en el que se presentó la señal en la ubicación que se muestra en el esquema central. Para esta neurona, la actividad fue selectiva respecto a la ubicación espacial: aumentó durante la demora tan sólo cuando la señal se presentó justo debajo del punto de fijación, la posición que se muestra en la parte (a) de la figura.

(Funahashi, S., Bruce, C. J. y Goldman-Rakic, P. S. (1989). Mnemonic coding of visual space in the monkey's dorsolateral prefrontal cortex, *Journal of Neurophysiology, 61* (2), 331-349. Utilizado con autorización).

respuesta a sucesos específicos, aunque sea con una resolución temporal más grosera y sólo en términos de actividad de poblaciones neurales a gran escala (en lugar de una sola neurona). No obstante, estos estudios han proporcionado una considerable evidencia convergente con la observada en la investigación de neuronas individuales. Específicamente, durante el período de demora de tareas de memoria operativa, la corteza prefrontal dorsolateral y la parietal muestran un aumento mantenido del nivel de actividad (Cohen *et al.*, 1997; Courtney *et al.*, 1997; Curtis, 2005).

Estos resultados son cruciales, ya que aclaran nuestras ideas acerca de la naturaleza del almacenamiento de la información a corto plazo en el cerebro. En primer lugar, sugieren que la distinción entre memoria a largo plazo y memoria a corto plazo —al menos en muchos casos— no lo es tanto en términos de sistemas cerebrales estructuralmente distintos, sino más bien en términos de los mecanismos mediante los que se retiene la información. Para su almacenamiento a corto plazo, la información se retiene como una actividad neural sostenida, mientras que para su almacenamiento a largo plazo no es probable que éste sea el caso. En segundo lugar, al menos respecto a ciertas regiones del cerebro, el almacén de la memoria a corto plazo no se parece en nada a la RAM de un ordenador, puesto que la RAM es completamente flexible respecto a qué información llega a almacenarse en las diferentes localizaciones. En cambio, en el cerebro algunas poblaciones neurales parecen estar especializadas en almacenar tipos muy selectivos de información, tal como una localización concreta en una pantalla situada delante de nosotros. Este resultado indica un mayor grado de organización basada en el contenido de la memoria operativa, como se expuso en el recuadro de *Debate* de este capítulo, en la p. 272. Pero aún no se sabe lo difundido que está en el cerebro este tipo de organización basada el contenido. Por ejemplo, ¿se extiende a las formas más abstractas de la información verbal, como pueda ser el conocimiento? Igualmente, parece que las poblaciones neurales almacenan información mediante un aumento sostenido de la frecuencia de disparo. ¿Pero, qué sucede cuando se está almacenando en la memoria operativa más de un elemento?, ¿cómo almacena el cerebro ese aumento de información?

En estudios con primates no humanos, ha sido difícil responder a estas cuestiones puesto que es muy difícil adiestrar a un animal para que mantenga más de un elemento a la vez. A los seres humanos, sin embargo, se les puede encomendar tareas más complejas. Sabemos que se pueden almacenar múltiples elementos en la memoria operativa simultáneamente. Así, se ha podido examinar la actividad cerebral cuando se han de mantener al mismo tiempo en la memoria operativa diferentes cantidades de elementos. El aumento de esa cantidad podría producir dos efectos posibles en la actividad cerebral: (1) El número de regiones cerebrales activas puede permanecer constante, pero los niveles de actividad en al menos algunas de esas regiones puede aumentar con cada elemento adicional que se almacene. (2) El número (o el tamaño) de regiones cerebrales activas puede aumentar, pero el nivel de actividad de una región ya activa podría no cambiar al añadir más elementos. De hecho, los estudios realizados hasta la fecha suelen mostrar una mezcla de estas dos pautas: el aumento del número de elementos que se han de almacenar parece incrementar tanto el número de regiones cerebrales activas como el nivel de actividad en esas regiones.

El efecto de cambiar la carga en la memoria operativa se estudia habitualmente mediante la **tarea *N* hacia atrás**, en la cual se presenta a los sujetos una sucesión continua de elementos, tales como letras, y se les pide que decidan, a medida que se presenta cada elemento, si coincide —o se puede emparejar— con otro que se presentó *N*

elementos antes en la serie, donde *N* es por lo general = 1, 2 ó 3. (También se les dice a los sujetos que respondan «no» si en un caso dado no hay elementos precedentes o la cantidad de elementos precedentes es menor que *N*). El valor de *N* se modifica con el fin de examinar cómo varían el rendimiento y la actividad cerebral con la carga de la memoria operativa. Así, dada la secuencia:

D F F B C F B B

se les podía pedir a los sujetos que respondieran sí o no a un emparejamiento cuando *N* = 1. Aquí las respuestas correctas son: no-no-sí-no-no-no-no-sí. En una condición de tres elementos hacia atrás en la misma serie, es decir, *N* = 3, las respuestas correctas serían no-no-no-no-no-sí-sí-no. Un elegante aspecto de la tarea *N* hacia atrás es que el experimentador puede mantener constante la identidad y el orden de los elementos que se presentan; el único factor que se cambia es la carga de la memoria operativa (uno, en una tarea «1 hacia atrás» frente a tres en una tarea «3 hacia atrás»). Esto significa que se elimina la posibilidad de «variables de confusión» —otros factores, extraños, que también cambian con la condición de la tarea—.

Los estudios de neuroimagen de sujetos dedicados a la tarea *N* hacia atrás han encontrado generalmente que la actividad cerebral en la corteza prefrontal lateral (así como en la corteza parietal) aumenta de forma lineal con el valor de *N* (véase la Figura 6-12) (Braber *et al*., 1997). Una interpretación habitual de este resultado es que mantener en la memoria operativa cada elemento adicional añade una demanda adicional a los *buffers* de almacenamiento de memoria operativa a medida que alcanzan su máxima capacidad. Repárese, no obstante, que la tarea *N* hacia atrás requiere procesos ejecutivos o de control además de almacenamiento, y que estos requerimientos en el ejecutivo central aumentan asimismo con el valor de *N*. Tanto la identidad de

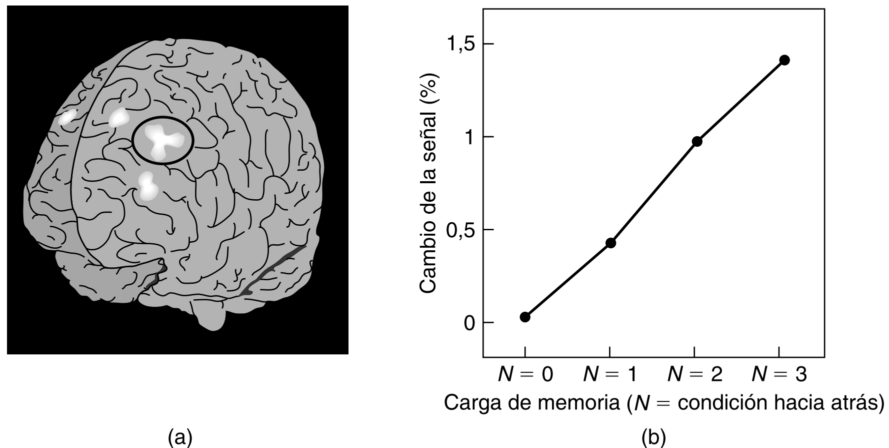



**FIGURA 6-12** Efectos de la sobrecarga de la memoria operativa en la corteza prefrontal durante la tarea *N* hacia atrás

La imagen muestra la superficie del encéfalo de un sujeto. Las áreas en blanco indican las regiones de la corteza prefrontal en las que se observó aumento de actividad con la sobrecarga de la memoria operativa. (b) Cambio de activación en la región marcada con un círculo en la imagen en función de la condición *N* hacia atrás (*N* = 0, 1, 2 ó 3). La activación aumentó linealmente con el valor de *N*.

(Braver, T. S., Cohen, J. D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E. y Noll, D. C. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Neuroimage, 5*(1), 49-62. Reimpreso con autorización de Elsevier).

un elemento como *su posición ordinal* han de almacenarse y después el elemento de la prueba debe ser emparejado con el que se encuentre en la posición apropiada. Según aumenta el número de elementos, se necesitan más «etiquetas» de secuencia para los elementos. La necesidad de manipular la información a medida que cambia el elemento significa que no está claro si interpretar un incremento lineal de actividad en una región cerebral durante estas pruebas de *N* hacia atrás como reflejo de procesos de mantenimiento o de procesos ejecutivos.

Una serie de estudios han intentado resolver esta cuestión examinando la actividad cerebral durante tareas más simples, tales como la de reconocimiento de elementos (la teoría estudiada por Sternberg, que se explicó antes en el apartado 2.2.2). En este caso, las demandas de mantenimiento sobrepasan ampliamente a las de procesos de control. El orden de los elementos no es un problema; todo lo que se requiere es un simple emparejamiento del elemento de la prueba, y la cantidad de elementos almacenados (que varía en los diferentes ensayos) se ajusta bien a la capacidad de memoria operativa. Estos estudios tienden a confirmar los hallazgos de la tarea *N* hacia atrás: los aumentos de la carga de memoria se asocian con un aumento de actividad en la corteza prefrontal y la parietal. Otra ventaja de la tarea de reconocimiento de elementos es que la actividad cerebral se puede computar independientemente en cada fase del ensayo: codificación, mantenimiento y recuperación. Este trabajo con RMf ha demostrado que la cantidad de elementos influye en la actividad de la corteza prefrontal y parietal específicamente durante el mantenimiento (Jha y McCarthy, 2000). En cualquier caso, el cuadro general sigue siendo complejo; un gran número de elementos puede llevar a un mayor grado de activación durante la codificación y la recuperación que durante el mantenimiento (Rypma y D'Esposito, 1999). Este último hallazgo coincide con la idea de que la corteza prefrontal es también importante para los procesos de control ejecutivo, tales como influir en qué información se selecciona para ser almacenada y también en cómo se utiliza la información que se mantiene.

Los estudios de neuroimagen y los de registro neuronal han aportado un sólido apoyo a la idea de que las representaciones en la memoria operativa se basan en la actividad sostenida de determinadas poblaciones neuronales. Estos hallazgos son un primer paso decisivo para entender la naturaleza de la codificación en la memoria operativa, pero por sí mismas no nos dicen exactamente cómo surge esta actividad neural sostenida. ¿Qué hace que las neuronas de la corteza prefrontal continúen disparando después de que la información perceptiva haya aparecido y desaparecido? En otras palabras, ¿qué es lo que potencia el proceso de mantenimiento? Una respuesta a esta pregunta es decisiva, no sólo para entender por qué la información que está en la memoria operativa se puede mantener con un alto grado de accesibilidad durante un corto período de tiempo, sino también para entender por qué parece haber allí unas limitaciones tan estrictas respecto a la cantidad de tiempo y el número de elementos que se pueden almacenar. Una hipótesis es que el mantenimiento a corto plazo ocurre cuando las neuronas conectadas vuelven a hacer circular entre ellas la activación. Esto es, cada neurona del circuito participa en un **bucle de reverberación,** manteniendo en él la información tanto «escuchando» como «hablando» —comunicando la información al resto de las neuronas con las que está conectada y recibiendo más tarde dicha información de las mismas (o de otras) neuronas (Hebb, 1949)—. Cada vez que una neurona transmite la información, suministra una señal de *input* a las neuronas con las que está conectada, lo cual permite a dichas neuronas «pasar» la información

a su vez. Así, las neuronas del circuito se apoyan mutuamente unas a otras y cada neurona contribuye al mantenimiento de la información.

Esto suena bien —pero, ¿están las neuronas del cerebro realmente equipadas para formar un circuito de reverberación semejante?— Para abordar la cuestión, los psicólogos y los neurocientíficos han construido modelos de redes neurales a pequeña escala con el fin de investigar los mecanismos de la memoria operativa. En algunos de estos modelos, las neuronas simuladas se implementan mediante programas de ordenador con propiedades que intentan reproducir con detalle lo que se conoce de la fisiología y la estructura de las neuronas reales y de su organización en circuitos. Ahora la pregunta es: ¿puede un circuito neural simulado lograr el almacenamiento de la información a corto plazo con modelos de neuronas que muestren pautas de actividad comparables a las observadas en los registros experimentales de neuronas reales? La respuesta: los modelos han logrado mostrar que el almacenamiento de la información a corto plazo se puede conseguir haciendo volver a circular la actividad en circuitos neurales, y el comportamiento de las neuronas modelo se puede aproximar mucho a lo registrado en los datos experimentales (Durstewitz *et al*., 2000).

Además, estos modelos se han utilizado para demostrar cómo pueden surgir los límites de la capacidad de almacenamiento y la duración de ésta. Cuando se mantienen simultáneamente en circuitos reverberantes que se solapan más de unos cuantos elementos, pueden interferir unos con otros hasta tal punto que la actividad circulante se interrumpe durante el período de demora (Listman e Idiart, 1995; Usher y Cohen, 1999). Del mismo modo, si señales irrelevantes se filtran en un circuito como éste, procedentes posiblemente del *input* perceptivo en curso, esto puede asimismo interferir el proceso de reverberación y desembocar en una interrupción de la señal de memoria sostenida en el tiempo (Brunel y Wang, 2001; Durstewitz *et al*., 2000). Así pues, los modelos se pueden utilizar para predecir los tipos de contextos de tareas que serán más vulnerables a la pérdida de información en la memoria operativa. Una ventaja final de estos modelos es que se pueden observar a lo largo del tiempo para ver cómo evoluciona el comportamiento de los sistemas. Una serie de modelos como éste, así como demostraciones de ellos, están disponibles para el público en Internet. Si el lector está interesado en ver un ejemplo, puede encontrarlo en la siguiente dirección: http://www.wanglab.brandeis.edu/movie/spatial_wm.html

## 4.2. Función de la corteza prefrontal en el almacenamiento y control

Aunque la corteza prefrontal no es la única área del cerebro en la que se observa activación sostenida durante el período de demora en tareas de memoria operativa —diversos estudios la han observado asimismo en otras áreas, en particular en la corteza parietal y la temporal (Fuster, 1995)—, parece ser que la corteza prefrontal juega un papel especial en mantener, de modo activo, la información. En el estudio en que esto se demostró más claramente, se registró la actividad neuronal en primates no humanos tanto en la corteza temporal como en la prefrontal durante la realización de una tarea de emparejamiento demorado (Miller *et al*., 1996). En esta variante de una tarea de reconocimiento de elementos, se presentaron elementos de distracción intercalados en el plazo comprendido entre la presentación de un elemento y el elemento de prueba siguiente. Tanto en la corteza temporal como en la prefrontal se apreció una

activación sostenida y selectiva durante el período de demora; sin embargo, cuando se presentaba un elemento de distracción, la activación específica para un estímulo (es decir, responder preferentemente a él) desaparecía en la corteza temporal pero se mantenía en la corteza prefrontal. Este trabajo se examina con mayor detalle en el recuadro «*Una visión más detenida*».

En estudios que utilizaron una variante espacial de la tarea, se advirtió la misma pauta de actividad parietal y prefrontal: los elementos de distracción redujeron la respuesta parietal, pero no la prefrontal (Constantinidis y Steinmetz, 1996). Se han obtenido resultados similares en seres humanos mediante estudios con RMf (Jiang *et al.*, 2000). Tomados en conjunto, estos resultados sugieren que en el cerebro debe haber regiones especializadas no sólo en cuanto al tipo de material que se está almacenando en la memoria operativa, sino también en cuanto a los diferentes modos de almacenar la información. La corteza prefrontal podría estar especializada en mantener la información durante los intervalos más largos (pero en términos de las características de actividad sostenida de la memoria operativa) o frente a una distracción, mientras que los sistemas temporales o los parietales podrían tener diferentes mecanismos para mantener la información durante los intervalos más cortos.

Además de los datos que sugieren que la corteza prefrontal interviene en mantener la información frente a las distracciones, muchos estudios de neuroimagen en seres humanos sugieren que también participa en funciones ejecutivas tales como la coordinación en tareas dobles o el manejo de la información en la memoria operativa. Por otra parte, la investigación experimental que se llevado a cabo en pacientes con daño en el lóbulo frontal parece indicar que sufren un deterioro de las funciones del ejecutivo central más que de la memoria operativa *per se* (lo cual se estudia en el Capítulo7) (Stuss y Benson, 1986). ¿Qué dicen estos hallazgos acerca del modelo de la memoria operativa planteado por Baddeley y Hitch, en el cual se plantea una estricta separación de las funciones de almacenamiento y las de control? En ese modelo, los dos sistemas de *buffer*, el bucle fonológico y el bloc visuoespacial, actúan como sistemas «esclavos» que sólo mantienen la información, y el ejecutivo central, que controla la operación de los *buffers,* no tiene por sí mismo capacidad de almacenamiento. ¿Cómo podrían reconciliarse los datos de neuroimagen con la teoría cognitiva? Una posible solución podría ser que diferentes subregiones de la corteza prefrontal lleven a cabo las funciones de almacenamiento y control. Y en efecto, como hemos visto, algunos estudios han demostrado que hay regiones prefrontales que participan selectivamente en el mantenimiento (las regiones ventrales) y en la manipulación (las regiones dorsales) de la información. En cualquier caso, estos hallazgos parecen ser más una cuestión de grado que una distinción definida y, además, no se han observado sistemáticamente (Veltman *et al*., 2003).

Hay otra posibilidad: que la corteza prefrontal sea la región del cerebro donde se representa y mantiene activamente la información relacionada con los objetivos de la conducta (Braver *et al*., 2002; Miller y Cohen, 2001). En este **modelo de mantenimiento de objetivos** (véase la Figura 6-13), la corteza prefrontal desempeña *ambas* funciones, una de almacenamiento y otra de control: mantener la información relativa a un objetivo (almacenamiento) y una influencia de arriba a abajo que coordina la percepción, la atención y la acción para alcanzar ese objetivo (control). La información almacenada en la corteza prefrontal puede aportar un contexto que ayude a interpretar situaciones ambiguas y a responder a ellas. ¿Pero, cómo podría llevarse esto a cabo? Veamos un ejemplo.

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

### Mecanismos de almacenamiento de la memoria operativa en el cerebro del mono

Consideraremos el trabajo de Earl Miller, Cynthia Erickson y Robert Desimone, quienes investigaron la actividad neural en primates durante la ejecución de una tarea de emparejamiento demorado. Publicaron su trabajo en 1996 bajo el título «Neural Mechanisms of Visual Working Memory in Prefrontal Cortex of the Macaque» *Journal of Neuroscience, 16* (16), 5154-5167.

**Introducción**

Los investigadores estaban interesados en examinar la actividad de las neuronas de la corteza prefrontal durante una tarea de memoria operativa en la cual se presentaba información que distraía durante el intervalo de demora. La actividad de las neuronas prefrontales se comparó con la respuesta observada en las neuronas de la corteza temporal. La hipótesis de trabajo sostenía que sólo las neuronas prefrontales mantendrían una respuesta sostenida, específica para un estímulo, frente a la distracción.

**Método**

Para comprobar las respuestas de neuronas individuales, los investigadores implantaron diminutos electrodos en neuronas de la corteza de macacos. En un estudio, se examinaron 135 neuronas de la corteza temporal inferior; en un segundo estudio, que utilizó los mismos dos monos, se registraron 145 neuronas prefrontales. Midiendo el cambio de voltaje del electrodo, se observó la actividad eléctrica de la neurona para determinar con qué fuerza respondía la neurona (en términos de cantidad de potenciales de acción, o de espigas eléctricas generadas por segundo). Se registró la actividad de cada neurona de muestra en una gran cantidad de ensayos de una tarea de memoria operativa de respuesta demorada. La teoría consistía en presentar una serie de dibujos de objetos. Se adiestró al macaco (mediante un entrenamiento gradual, con recompensa) para accionar una palanca cuando el objeto que se presentaba coincidía con el modelo («pareja»), el primer objeto que se había presentado en el ensayo. Entre el modelo y la pareja se podían presentar entre cero y cuatro dibujos intercalados que no coincidían con el modelo, los cuales tenían que ignorarse.

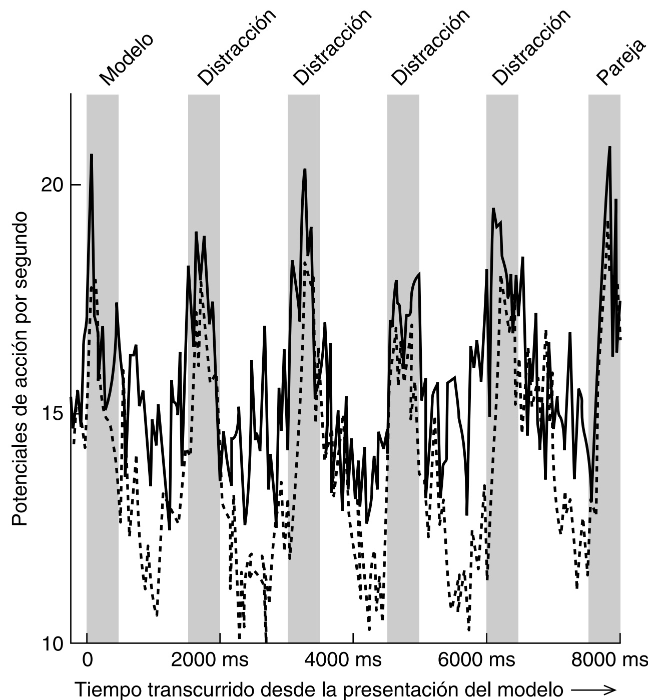



La tarea de memoria del mono, que requería memorizar un modelo y responder cuando apareciera un elemento idéntico tras una serie variable de elementos de distracción intercalados.
(Miller, E. K., Ericson, C. A. y Desimone, R. (1996). Neural mechanisms of visual working memory in prefrontal cortex of the macaque. *Journal of Neuroscience, 16*(16), 5154-5167. Copyright © 1996 por la Society for Neuroscience. Reimpreso con autorización.)

**Resultados**

Tanto en la corteza temporal como en la prefrontal, muchas de las neuronas tenían una respuesta selectiva a un estímulo: su respuesta era mayor cuando el objeto que se presentaba se parecía más al modelo que al resto de los objetos. Es importante señalar que esta respuesta selectiva al estímulo se conservaba cuando se retiraba el modelo de la presentación (esto es, la representación de memoria del modelo). En las neuronas de la corteza prefrontal, la actividad selectiva ante el estímulo persistía incluso cuando se presentaban elementos de distracción intercalados y continuaba hasta que se presentaba el elemento que

formaba pareja. Sin embargo, en la corteza temporal, la respuesta selectiva al estímulo desaparecía después de que se presentara el primer elemento de distracción.




Promedio de la actividad neuronal en la corteza prefrontal durante los períodos de distracción tras la presentación de objetos «modelo» (indicados por las barras) que inducen una respuesta intensa (líneas gruesas) o una respuesta débil (líneas de puntos). El aumento de actividad se mantuvo en cada período de distracción y de demora hasta que se presentó el elemento idéntico (la pareja).
(Miller, E. K., Erickson, C. A., Desimone, R. (1996). Neural mechanisms of visual working memory in prefrontal cortex of the macaque. *Journal of Neuroscience, 16* (16), 5154-5167. Copyright © 1996 por la Society for Neuroscience. Reimpreso con autorización).

### Discusión

El hallazgo de que las neuronas de la corteza prefrontal y la corteza temporal inferior conservaban una pauta de actividad selectiva ante el estímulo durante el período de demora inmediatamente posterior a la presentación del modelo sugiere que ambas regiones cerebrales podrían estar relacionadas con el almacenamiento a corto plazo basado en la actividad. Sin embargo, el descubrimiento de que sólo las neuronas prefrontales conservaban esta respuesta selectiva mientras que se presentaban elementos de distracción intercalados sugiere que las dos regiones del cerebro desempeñan funciones distintas en la memoria operativa. Una posible interpretación de los resultados es que la corteza prefrontal juega un papel decisivo protegiendo a la información mantenida activamente de los perjudiciales efectos de la interferencia.

Supongamos que seguimos una ruta de conducción habitual, quizá del trabajo a casa. En un cruce, la ruta directa a nuestra casa es todo hacia delante, pero siempre nos mantenemos en el carril de la izquierda porque hay una señal de giro a la izquierda que hace que el tráfico se mueva más deprisa en ese carril, tanto si vamos a seguir de frente como si vamos a girar a la izquierda. Así que, habitualmente —el modelo

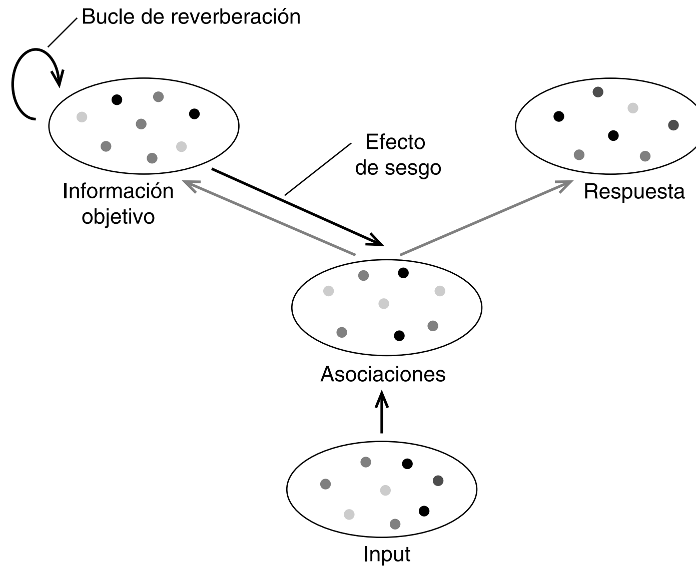



**FIGURA 6-13** Modelo de mantenimiento de objetivos

En este modelo, la información «objetivo» se representa en la corteza prefrontal como una pauta de actividad. Los bucles de reverberación permiten que esta actividad se mantenga durante los períodos de demora y las conexiones de retroalimentación hacen posible que la actividad mantenida sesgue las asociaciones internas que se han activado en respuesta al *input* perceptivo. De este modo, la información objetivo puede proporcionar el control sobre los pensamientos y la conducta.

(Adaptado de Braver, T. S., Cohen, J. D. y Barch D. M. (2002). The role of the prefrontal cortex in normal and disordered cognitive control: A cognitive neuroscience perpective. En D. T, Stuss and R. T. Knight (eds.), *Principles of Frontal Lobe Function* (pp. 428-448). © 2002 Oxford University Press. Reimpreso con autorización de Oxford University Press).

por defecto—, nos situamos en el carril de la izquierda aunque no giremos en ese sentido. Pero, si camino a casa tenemos que parar en el supermercado, como hacemos a veces, deberemos girar a la izquierda en el cruce. Ahora estamos parados en el semáforo. ¿Giraremos a la izquierda o seguiremos de frente? Eso depende de nuestro objetivo, que aporta un contexto para determinar nuestras acciones: ¿qué es lo que queremos, ir a casa o a la tienda? Es muy posible que encontremos que en el caso menos frecuente tenemos que mantener activo en la memoria operativa el objetivo «ir a la tienda» mientras estamos esperando en el semáforo; en caso contrario nos olvidaremos y seguiremos de frente.

Considerando el papel de la corteza prefrontal en la memoria operativa desde la perspectiva del mantenimiento del objetivo, esto es lo que ocurre: mientras esperamos en el semáforo, el objetivo «ir a la tienda» se mantiene activamente en la corteza prefrontal y esta activación fluye de vuelta desde la corteza prefrontal hasta los sistemas del cerebro que median la percepción, la activación y la acción para influir en nuestra respuesta cuando el semáforo se ponga en verde. Cuando el objetivo no se mantiene activamente, podemos seguir de frente —nuestra ruta por defecto— y llegar a casa sin haber comprado la leche. El objetivo aporta un contexto que influye en nuestra conducta, desechando nuestra respuesta habitual en esa situación.

La teoría del mantenimiento del objetivo relativa a la participación prefrontal en la memoria operativa parece ser coherente con una amplia serie de datos, procedentes tanto de seres humanos como de animales (Miller y Cohen, 2001). Por ejemplo, en estudios con monos, un análisis cuidadoso de las respuestas de las neuronas de la cor-

teza prefrontal durante tareas comportamentales sugiere que lo que se mantiene en sus pautas de actividad sostenida no es sólo una mera representación perceptiva del *input,* sino más bien algo parecido a las características de interés de la tarea o a las reglas comportamentales de la situación (por ejemplo, si la luz es roja, entonces apretar el botón izquierdo; Miller *et al*., 2002). Puesto que la información que se mantiene en la corteza prefrontal es la más pertinente para ejecutar la tarea que se tiene entre manos, se podría utilizar para sesgar el modo en que se interpreta la nueva información y cómo se determinan las acciones. ¿Hay alguna forma de comprobar esta idea?

De hecho, la teoría del mantenimiento de objetivos se ha implementado y comprobado en estudios de modelos computerizados en los que los mecanismos de almacenamiento y de control podrían en realidad operar juntos para producir las pautas de ejecución que manifiestan los seres humanos y los animales en tareas de memoria operativa (Braver *et al*., 2002; O'Reilly *et al*., 2002; Rougier *et al.,* 2005). La teoría emprende un largo camino hacia la desmitificación del concepto del ejecutivo central en la memoria operativa, mostrando cómo puede tener lugar el control de la conducta en términos aceptables desde un punto de vista neurobiológico. Sin embargo, es importante darse cuenta de que puede haber muchas posibles funciones ejecutivas relacionadas con la memoria operativa —puesta al día, integración de información, transformación, adjudicación de *buffer*, atención y coordinación— y no está claro cómo éstas podrían surgir tan solo del modelo de mantenimiento del objetivo. Es probable, como se verá en el próximo capítulo, que en la corteza frontal se efectúen otros procesos ejecutivos aparte del de mantenimiento de objetivos.



### *Control de comprensión*



1. ¿Qué datos sugieren que la información se mantiene en la memoria operativa mediante un almacenamiento basado en la actividad?
2. ¿Qué han aportado los estudios de la corteza prefrontal a las teorías cognitivas de la memoria operativa?

## 5 Tendencias actuales

El modelo de Baddeley y Hitch y la idea de un «espacio operativo mental» nos han llevado por un largo camino en la exploración de la memoria operativa. Sin embargo, un examen detallado del papel de la corteza prefrontal, en particular el modelo del mantenimiento de objetivos y la interacción de las funciones de almacenamiento y control, lleva a considerar otras hipótesis. El modelo original hacía una distinción estructural entre almacenamiento y control; si esta distinción no es estricta surgen otras posibilidades.

### 5.1. El *buffer* episódico

Incluso los buenos modelos de la cognición necesitan una puesta al día transcurrido algún tiempo, y Baddeley (2000) ha pulido recientemente su modelo de la memoria

operativa para dar cuenta de algunas limitaciones asociadas al modelo original de Baddeley y Hitch. En la versión más reciente ha añadido un tercer *buffer* de almacenamiento, denominado ***buffer* episódico**, al que considera como un sistema que puede servir tanto de almacén auxiliar cuando los principales están sobrecargados o alterados, como un lugar en el que integrar diversos tipos de información, tales como contenidos verbales y espaciales, dentro de la memoria operativa. Otro aspecto clave del *buffer* episódico es que parece ser un sitio donde las memorias a corto plazo de información compleja, como sucesos o episodios con dimensión temporal, se pueden almacenar (de ahí, el nombre de «episódico»).

La inclusión del *buffer* episódico en el modelo de memoria operativa, aparentemente procura una atractiva solución a muchos hallazgos peculiares que se han acumulado a lo largo de los años, hallazgos que no pudo explicar convenientemente la concepción original del modelo. Como ejemplo, leamos lo siguiente y después cerremos los ojos e intentemos repetirlo en voz alta: *El profesor intentó explicar un difícil concepto de Psicología cognitiva a los estudiantes, pero no lo logró por completo.* Probablemente recordamos bastante bien casi todas las palabras. Intentemos ahora esto: *Explicar no pero logró difícil un psicología el tuvo al concepto por completo estudiantes cognitiva al profesor el intentó*. Imposible, ¿no es así? Hay una marcada diferencia entre la frase significativa de 19 palabras y la que no tiene ningún sentido porque las palabras están trastocadas. ¿Qué es lo que nos permite mantener esta información en la memoria operativa cuando el número de palabras excede ampliamente los límites de capacidad reconocidos? Una posibilidad, como argumentaría Miller (1956), es que podemos agrupar la información en unidades mayores y de mayor significado que las palabras individuales. ¿Pero, cómo y dónde ocurre dicha integración? En principio, parece que podría ser en el bucle fonológico, ya que éste mantiene la información verbal. Todavía se piensa que el bucle fonológico utiliza un código basado en el sonido más que uno basado en el significado. De forma similar, pacientes como P. V., que supuestamente tienen dañado por completo el bucle fonológico, siguen mostrando el efecto de frase que se acaba de describir. P. V. tenía una capacidad de palabras de una, pero una capacidad de frases de cinco palabras (Vallar y Baddeley, 1984). Esto está incluso por debajo del límite normal de 15 a 20, pero indica que podría haber sido capaz de utilizar un sistema de almacenamiento de seguridad que sea más flexible con el tipo de información que se está almacenando. Posiblemente, el *buffer* episódico juegue precisamente ese papel.

El *buffer* episódico es una idea relativamente nueva, y por tanto todavía no se la ha sometido a muchas pruebas experimentales. Por otra parte, la naturaleza mixta de su función podría indicar que en realidad puede ser parte del ejecutivo central más que un componente de almacenamiento. El mismo Baddeley (2003) ha indicado algo similar, lo que sugiere que la separación de almacenamiento y control en la memoria operativa, defendida con tanto entusiasmo en la versión original del modelo, se puede estar desvaneciendo en las concepciones actuales. Este enfoque encajaría bien con la explicación del mantenimiento de objetivos.

## 5.2. Variabilidad de una persona a otra

Uno de los temas actuales en la investigación sobre la memoria operativa es el de las diferencias individuales en cuanto a esta capacidad. Las personas varían mucho en la

capacidad de mantener elementos en la memoria operativa, en especial en mantenerlos cuando se está en condiciones de interferencia. Puesto que la memoria operativa parece ser tan importante para procesos mentales tales como resolución de problemas y pensamiento, no es de sorprender que estas diferencias individuales se asocien con superación de exámenes universitarios y aprendizaje de nuevas y complejas capacidades cognitivas (como la programación de ordenadores). De hecho, algunos investigadores han sugerido que la capacidad de memoria operativa se relaciona con la inteligencia fluida general, definida como la capacidad de resolver problemas y razonar en situaciones nuevas (Kyllonen y Christal, 1990). En este caso, una cuestión importante es determinar con mayor precisión cuáles son los elementos de la memoria operativa que varían y son fundamentales para predecir el éxito cognitivo y la capacidad intelectual general.

Una tarea estándar para evaluar la capacidad de memoria operativa, como la que se presentó en la Figura 6-1, plantea esencialmente cuántos elementos puede almacenar en la memoria operativa un sujeto enfrentado a una distracción (Conway *et al.*, 2005). Si la capacidad de la memoria operativa se define como el número de elementos y el $\pm 2$ tras el número mágico 7 refleja la variabilidad individual, podríamos imaginar que alguien con una capacidad de nueve elementos podría tener una gran ventaja sobre alguien con una capacidad de cinco elementos al desarrollar tareas cognitivas complejas. Esto es, alguien que sea capaz de mantener más información disponible en la memoria operativa podría ser más eficaz, olvidar menos y depender menos del sistema, más lento y menos flexible, de la memoria a largo plazo.

Una idea alternativa, más reciente, sugiere que lo que se evalúa en tareas como esa quizá no sea la capacidad de almacenamiento *per se,* sino más bien la capacidad de conservar activamente mantenida frente a las interferencias la información de interés para alcanzar un objetivo (Engle, 2002). Bajo este enfoque, una alta capacidad de memoria operativa se puede referir a la capacidad de conservar activo incluso un solo objetivo en condiciones de alta interferencia. Los investigadores han demostrado que esta capacidad es distinta de la capacidad de almacenamiento a corto plazo y que esta función, no la capacidad de almacenamiento a corto plazo, se relaciona estrechamente con la inteligencia fluida y las capacidades cognitivas (Engle *et al.*, 1999). Además, dichos investigadores sugieren que esta función se lleva a cabo en la corteza prefrontal, idea que es coherente con el papel que juega la corteza prefrontal en el mantenimiento de la información frente a la distracción. Los datos existentes sugieren que esta capacidad puede ser el componente de la capacidad de la memoria operativa que varía de forma más señalada de una persona a otra.

Dicha idea se sometió a prueba en un estudio de neuroimagen que examinó la respuesta cerebral a información que distraía durante la ejecución de una tarea *N* hacia atrás (Gray *et al.*, 2003). Los elementos de distracción que se utilizaron eran elementos que se habían repetido recientemente pero no eran «objetivos» (por ejemplo, la segunda «F» en la secuencia «B-T-R-F-T-F», donde la tarea consistía en buscar elementos coincidentes [«parejas»] para $N = 3$). Se encontró que los sujetos que puntuaban alto en inteligencia fluida tenían una respuesta de activación mayor en la corteza prefrontal durante los ensayos de distracción, aunque no hubo diferencias fiables entre los sujetos en cuanto a los elementos que no eran de distracción. Así pues, las personas con una alta capacidad de memoria operativa pueden ser más capaces de mantener muy activada la información de interés para lograr un objetivo, y lista para utilizar cuando se necesite.

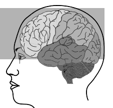
## 5.3. Función de la dopamina

Los investigadores han hallado que los pacientes que sufren ciertas formas de enfermedades psiquiátricas o neurológicas tienen un deterioro de la memoria operativa. Estos grupos incluyen pacientes con esquizofrenia, enfermedad de Parkinson y enfermedad de Alzheimer. Dado el papel crucial de la memoria operativa en la cognición, es importante desde el punto de vista clínico determinar si puede haber algún tratamiento farmacológico que pudiera mejorar la memoria operativa en dicha población. Resulta interesante que una serie de estudios, tanto en animales como en seres humanos, haya sugerido que el neurotransmisor *dopamina* juega un papel especialmente importante en la memoria operativa y que los fármacos que aumentan los niveles cerebrales de dopamina o que facilitan la acción de la dopamina pueden mejorar la capacidad de memoria operativa (Luciana *et al*., 1998; Sawaguchi, 2001). A la inversa, los fármacos que bloquean la acción de la dopamina ejercen el efecto contrario e interfieren la memoria operativa (Sawaguhi y Goldman-Rakic, 1994).

Este trabajo, además de tener significado clínico, puede también influir en nuestro conocimiento de cómo se efectúa normalmente la memoria operativa en el cerebro y qué puede hacer que en ocasiones se malogre, incluso en individuos sanos. Algunas explicaciones teóricas han sugerido que la dopamina puede tener una importancia decisiva para ayudar a mantener la información en curso frente a las interferencias, señalizando cuándo ha de actualizarse la información que contiene la memoria operativa (Braver y Cohen, 2000; Durstewitz *et al*., 1999; Serva-Schreiber *et al*., 1990). Las investigaciones neurofisiológicas sugieren que la dopamina puede contribuir a amplificar las señales fuertes y a atenuar las débiles (Chiodo y Berger, 1986). Un mecanismo semejante podría ser muy útil para la memoria operativa si asumimos que la información pertinente para una tarea transmite una señal más fuerte que el ruido de fondo de interferencia. Asimismo, resulta sugerente que la anatomía del sistema dopaminérgico sea tal que las células productoras de dopamina están estrechamente conectadas con la corteza prefrontal —la región del cerebro que puede ser la más importante para proteger de la distracción a la información que se mantiene—. Por lo tanto, una hipótesis razonable es que el *input* dopaminérgico a la corteza prefrontal podría jugar un papel clave al proporcionar a dicha región la capacidad de protegerse de la interferencia. Por último, hay algunos indicios de que los niveles de dopamina y de actividad varían extremadamente, tanto a lo largo del tiempo en un individuo (King *et al*., 1984) como en una población (Fleming *et al*., 1995). Una posibilidad fascinante es que la variabilidad (posiblemente, con base genética) del sistema dopaminérgico pudiera ser la causa neural de las diferencias de memoria operativa que se observan en diferentes personas (Kimberg *et al*., 1997; Mattay *et al*., 2003).



### *Control de comprensión*



1. ¿Cómo resuelve la adición de un *buffer* episódico los datos que son problemáticos para el modelo original de Baddeley y Hitch?
2. ¿Según la explicación de la atención ejecutiva, cuál es el origen de la variabilidad de una persona a otra en la capacidad de memoria operativa?

## *Repaso y reflexión*

1. *¿Cómo se utiliza la memoria operativa en la cognición?*

   La memoria operativa se puede definir como el sistema cognitivo que guarda información pertinente para la realización de una tarea almacenada en un estado muy activo, de modo que se puede acceder fácilmente a ella, evaluarla y modificarla para utilizarla en las actividades cognitivas y la conducta. Una metáfora posiblemente útil es la RAM de un ordenador. La memoria operativa impregna la cognición diaria. No sólo se utiliza para mantener una cuestión en la mente mientras se escucha la conversación de alguien, sino que también se utiliza en tareas tan diversas como calcular la propina en un restaurante, cambiar de dirección al conducir, parafrasear frases complejas y planificar un movimiento de ajedrez. Puesto que la memoria operativa impregna de tal modo la cognición, la variabilidad de una persona a otra en la capacidad de memoria operativa puede ser el componente fundamental de las diferencias individuales en una amplia serie de capacidades cognitivas.

   **Piense críticamente**

   - Imaginemos que tenemos una alteración de la memoria operativa. ¿Qué aspectos de nuestra vida diaria serían los más perjudicados?
   - ¿Se podría «entrenar» la memoria operativa para que fuera mejor?, ¿cómo se podría hacer? Utilicemos como ejemplo la conversación sobre películas —¿cómo se podría mejorar el rendimiento en este tipo de situación?—.

2. *¿Cómo surgió el enfoque moderno de la memoria operativa?*

   Las primeras ideas sobre la memoria operativa establecieron una estrecha relación entre ésta y la consciencia; las investigaciones experimentales realizadas en la década de los cincuenta y los sesenta se centraron en las características del almacenamiento a corto plazo y su distinción del almacenamiento a largo plazo. De estos trabajos se desprenden tres principios fundamentales: (1) las agrupaciones de $7 \pm 2$ elementos son la máxima capacidad del almacén a corto plazo (aunque más tarde se comprobó que este número estaba sobreestimado); (2) la información puede decaer rápidamente en el almacén a corto plazo si no se repasa mentalmente; y (3) se puede acceder rápidamente a la información almacenada en la memoria a corto plazo. El modelo de Atkinson y Shiffrin proporcionó una explicación funcional del almacén a corto plazo como un depósito o una puerta de salida necesarios que posibilita una codificación eficaz y el acceso a la memoria a largo plazo. Sin embargo, trabajos posteriores pusieron de manifiesto que puede haber un almacenamiento normal en la memoria a largo plazo incluso cuando el sistema de memoria a corto plazo está afectado. El modelo de Baddeley y Hitch reformuló la idea de la memoria a corto plazo en el concepto moderno de memoria operativa, el cual postula la existencia de múltiples componentes de almacenamiento y hace hincapié en la interacción con los procesos de control.

   **Piense críticamente**

   - ¿Piensa el lector que la memoria operativa es precisamente la consciencia, y viceversa?, ¿por qué si o por qué no?, ¿es la «consciencia» lo mismo que el procesamiento de la información?

- Se piensa que el almacén a corto plazo está estrictamente limitado tanto en capacidad como en duración. ¿Se le ocurre al lector alguna ventaja que esta limitación pueda conferir?, ¿cómo sería el mundo si tanto la capacidad como la duración fueran ilimitadas?

3. *¿Cuáles son los componentes de la memoria operativa?*

El modelo de Baddeley consta de tres componentes: el bucle fonológico (que almacena y repasa mentalmente la información verbal), el bloc visuoespacial (que posibilita las imágenes mentales y la navegación) y el ejecutivo central (que dirige la información a uno u otro de los *buffers* de almacenamiento y coordina, integra y manipula esa información). Una serie de líneas de evidencias convergentes, que provienen de estudios comportamentales, pacientes neuropsicológicos y datos de neuroimagen, han sugerido que la memoria visuoespacial y la memoria operativa verbal implican distintos *buffers* de almacenamiento.

Los estudios de neuroimagen han proporcionado cierto apoyo a la distinción entre los procesos de mantenimiento y los de manipulación: la manipulación de la información parece residir en la corteza prefrontal lateral mientras que el mantenimiento de la información residiría principalmente en áreas ventrales.

**Piense críticamente**

- ¿Cómo podrían contribuir a nuestro conocimiento de los *buffers* de almacenamiento a corto plazo los estudios de memoria operativa en personas que están ciegas o sordas (pero que manejan con fluidez el lenguaje de señas)?

Una teoría del bucle fonológico sugiere que se basa en nuestra habilidad para imitar. ¿Se le ocurre al lector alguna habilidad equivalente que tengamos en la que pudiera basarse el bloc visuoespacial?

4. *¿Cómo «opera» la memoria operativa en el cerebro?*

El mantenimiento de la información en la memoria operativa podría llevarse a cabo mediante mecanismos de almacenamiento basados en la actividad que implican a la corteza prefrontal. Las neuronas prefrontales muestran una actividad sostenida elevada durante los períodos de demora en tareas de memoria operativa. Al parecer, esta actividad prefrontal juega un papel más decisivo en situaciones donde la información almacenada tiene que ser protegida de las fuentes de interferencia. Estudios de neuroimagen en seres humanos han hallado actividad prefrontal sostenida durante tareas *N* hacia atrás. Por otra parte, parece ser que esta actividad aumenta en intensidad cuando aumenta el número de elementos que se han de mantener simultáneamente. Modelos computacionales detallados han sugerido que el mantenimiento activo en la corteza prefrontal podría surgir de la actividad de volver a hacer circular la información entre redes locales de neuronas.

**Piense críticamente**

- Las investigaciones realizadas mediante estimulación magnética transcraneal (EMT: véase Capítulo 1) han hecho posible llevar a cabo estudios en los que se producen «lesiones» temporales y reversibles en seres humanos. ¿Qué tipo de efectos podríamos predecir si la EMT se aplicara a la corteza prefrontal durante diferentes tipos de tareas de memoria operativa?
- Ha habido informes de individuos con una capacidad excepcionalmente grande de almacenamiento a corto plazo, algo así como más de 100 dígitos (posible-

mente debido a un aumento del tamaño de las agrupaciones de elementos). Imaginemos que pudiéramos explorar el cerebro de esas personas mientras están realizando tareas de memoria operativa tales como la de *N* hacia atrás o la tarea de reconocimiento de elementos de Sternberg. ¿Qué patrones predeciríamos?

5. *¿Cómo podrían cambiar en el futuro los enfoques de la memoria operativa?*

En la actualidad existe una amplia variedad de diferentes modelos referentes a la estructura y los componentes de la memoria operativa. Algunos, como el modelo de Baddeley y Hitch, se centran en el aspecto del almacenamiento, haciendo énfasis en las distinciones entre el tipo de contenido de los almacenes (verbal, espacial) y la función del ensayo o repaso mental en mantener activada la información. Otros modelos, como el enfoque del mantenimiento de objetivos, se centran más en el aspecto del control de la memoria operativa, haciendo énfasis en cómo el mantenimiento activo de la información relacionada con los objetivos se puede utilizar para restringir la atención, los pensamientos y la acción. El control de la conducta tiene múltiples facetas y posiblemente implique una serie de mecanismos. Una importante línea de investigación en el futuro será determinar la relación exacta entre los procesos ejecutivos y la memoria operativa.

**Piense críticamente**

- La capacidad de memoria operativa predice el rendimiento en pruebas tales como el TAS y el ERG[5]. Así pues, ¿por qué no simplemente reemplazar las pruebas estandarizadas actuales por una única medida de la capacidad de memoria operativa de un individuo, utilizando una prueba corta como la que se ilustra en la Figura 6-1?, ¿cuáles podrían ser las posibles ventajas, desventajas e implicaciones de una decisión semejante?
- Imagine el lector que se puede conseguir una droga que ha demostrado mejorar el funcionamiento de la memoria operativa en adultos jóvenes sanos. ¿Sería ético permitir que esta droga estuviera a disposición de todo el mundo?, ¿si estuviera involucrado en tomar esta decisión de política farmacéutica, cuáles serían los factores que le influirían?

[5] Pruebas de inteligencia verbal y de razonamiento, respectivamente. *(N. del T.)*

# Procesos ejecutivos




## Objetivos de aprendizaje

Nos encontramos en la cocina preparando algo de pasta para la cena, tenemos puesta la música a todo volumen. Suena el teléfono. Es un amigo que quiere que mañana le hagamos un favor y recojamos un paquete cuando pasemos por el centro de la ciudad. Según mantenemos la conversación, dirigimos los ojos a la cocina para asegurarnos de que el agua no hierve aún. Mientras charlamos, intentamos pensar en cómo hacer encajar el recado de nuestro amigo en todo lo que tenemos que hacer en el centro. ¡Caray!, el agua ha empezado a hervir y caemos en la cuenta de que aún no hemos comenzado a calentar la salsa —¡Lo fastidiamos, demasiadas cosas que hacer al mismo tiempo!—.

Para evitar desastres domésticos y sociales en esta situación —una cena echada a perder, una grosería con nuestro amigo...—, en esos pocos minutos tenemos que hacer cinco cosas diferentes, algunas de ellas al mismo tiempo: atender a hacer toda la cena a la vez, cambiar la atención a la llamada telefónica y seguir cambiando la atención una y otra vez de la cocina a la llamada, ignorar la música que suena al fondo mientras que escuchamos a nuestro amigo, planificar las actividades de mañana para incluir en ellas la petición de nuestro amigo y controlar cómo va la cocción. Mientras nos ocupamos de esta situación, cuando menos cinco procesos cognitivos cruciales se encuentran en juego:

- *El tipo de atención selectiva que habitualmente actúa sobre el contenido de la memoria operativa y dirige el procesamiento subsecuente para conseguir un objetivo*. (Nos estamos centrando en la agenda de mañana, que hemos incorporado a la memoria operativa). Este tipo de atención —que a menudo se denomina **atención ejecutiva**— ha de distinguirse del tipo que selecciona ciertas posiciones espaciales en el entorno y determina qué es lo que llega a percibirse en primer lugar (lo cual se discutió en el Capítulo 3, *Atención*).
- *Cambiar la atención ejecutiva de una actividad, o proceso, a otra* (de vigilar el puchero en la cocina a responder al teléfono).
- *Ignorar o inhibir información que ya se ha percibido.* (Sí, habíamos estado escuchando la música —pero ahora la oímos menos mientras nuestro amigo nos está hablando—).
- *Planificar una secuencia de actividades.* (¿Podemos posponer una cita de una media hora para tomar un café, de forma que nos dé tiempo a acercarnos al centro de la ciudad y volver al campus?)
- *Vigilar lo que estamos haciendo.* (¿Cómo va el puchero de agua con sal? —¿Es que no va a hervir nunca?—).

Estos cinco procesos se definen como *procesos ejecutivos*; el término procede del influyente modelo de Alan Baddeley (1986) referente a la memoria operativa en el cual hay sistemas distintos para almacenar a corto plazo la información visual y la verbal, así como un ejecutivo central que opera sobre el contenido almacenado (lo cual se estudió en el Capítulo 6, *Memoria operativa*). Los procesos ejecutivos organizan nuestra vida mental, del mismo modo que un ejecutivo corporativo coordina las actividades del negocio; en ambos casos la función es administrativa, no de «ejecución física». El ejecutivo corporativo puede reasignar recursos para aumentar la dimensión del departamento de servicios con el fin de mejorar el control de calidad, pero los arreglos concretos se realizan a un nivel organizativo más bajo. Como el CEO (siglas de *Chief Operative Officer*), los procesos ejecutivos coordinan los procesos de nivel inferior (tales como recordar palabras y sumar números). Si el teléfono sonara justo ahora, podríamos cambiar inmediatamente del proceso de leer estas líneas al de responder al teléfono, dado que el proceso ejecutivo de «cambiar la atención» organiza estas dos actividades.

De un modo más formal, podemos definir los **procesos ejecutivos** como procesos que modulan la operación de otros procesos y que son responsables de coordinar la actividad mental de manera que se pueda conseguir un objetivo determinado. Los procesos que, al igual que los procesos ejecutivos, operan sobre otros procesos se conocen como *metaprocesos*. (Aunque todos los procesos ejecutivos son metaprocesos, no todo metaproceso es un proceso ejecutivo, debido a que no puede coordinar ni controlar la actividad mental).

Este capítulo se ocupa de seis preguntas sobre los procesos ejecutivos:

**1.** ¿Están mediados los procesos ejecutivos por los lóbulos frontales?
**2.** ¿Qué es la atención ejecutiva y cómo se pueden plantear modelos sobre ella?
**3.** ¿Qué interviene en el cambio de atención?
**4.** ¿Qué es la inhibición de respuesta y qué la caracteriza?
**5.** ¿Qué son los mecanismos que se utilizan para establecer secuencias de información?
**6.** ¿Qué interviene en la supervisión de nuestra actuación «*on line*»?

# 1 La conexión del lóbulo frontal

Una de las principales razones para pensar que los procesos ejecutivos forman una clase diferenciada de procesos cognitivos deriva de estudios relativamente tempranos de pacientes que habían sufrido un daño cerebral frontal consecuente a un **traumatismo craneoencefálico cerrado**, traumatismo causado por un golpe externo que no perfora el cráneo. (¿Por qué los accidentes de automóvil u otros sucesos en los que se golpea la cabeza producen una lesión en el lóbulo frontal más que en otras regiones del cerebro? Examinemos un momento un cráneo y veremos que tiene pliegues en su superficie interna; los más pronunciados y sobresalientes se encuentran junto a los lóbulos frontales; así pues, un golpe en el cráneo penetra más profundamente en los lóbulos frontales que en cualquier otra región). Por supuesto, un daño frontal puede deberse asimismo a cualquier otra circunstancia, por ejemplo, a un accidente cerebrovascular o a una breve privación de oxígeno. Uno de los episodios más insólitos —y más significativos por su temprana influencia en las ideas acerca de la función de los lóbulos frontales— fue un accidente que tuvo un trabajador de ferrocarril, Phineas Gage, en 1848. Parte del trabajo de Gage consistía en introducir explosivos dentro de barrenos con la ayuda de una barra de un metro de longitud, llamada «hierro de retacar». Una explosión prematura provocó que uno de estos hierros le atravesara la cabeza, penetrando por la mejilla izquierda y saliendo por la parte superior del cráneo (véase la Figura 7-1), para caer luego a tierra a cierta distancia. Gage sobrevivió pero, aunque en apariencia se recuperó físicamente y sufrió escasos daños intelectuales, su conducta cambió radicalmente. Antes del accidente era una persona cumplido-

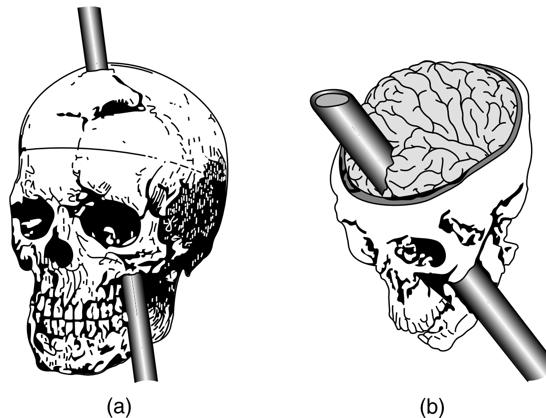



**FIGURA 7-1** Phineas Gage, el paciente del lóbulo frontal

(a) Este dibujo, que reconstruye la trayectoria del hierro de retacar que atravesó la cabeza de Gage, apareció en el informe sobre el caso realizado por el Dr. John M. Harlow en 1868, quien trató a Gage cuando sucedió el accidente y examinó su cráneo después de su fallecimiento.

(Harlow, J. M. (1868). Recovery from the passage of an iron bar through the head. *Publ. Mass. Med. Soc. 2:* 327-347. En: http:// home.earthlink.net/~electrikmon/Neuro/artGage.htm).

(b) Una reconstrucción moderna del accidente, realizada mediante técnicas computarizadas, en donde se representan las áreas cerebrales que resultaron afectadas. El estudio de Phineas Gage, quien sobrevivió al accidente y vivió 13 años más, marca el comienzo del análisis sistemático de la función del lóbulo frontal.

(H. Damasio, T. Grabowski, R. Frank, A.M. Galaburda y A. R. Damasio (1994). The return of Phineas Gage: The skull of a famous patient yields clues about the brain. *Science, 264*; 1102-1105. En: http:// www.sciencemuseum.org.uk/exhibitions/brain/291.asp. Reproducido con autorización.)

ra, trabajadora y tranquila; después de él se volvió irresponsable, impulsivo, dado a accesos de genio y a blasfemar. El médico que le trató cuando tuvo el accidente y le estudió más tarde, John M. Harlow, estableció una conexión entre el área más dañada de los lóbulos frontales y la falta de contención social que posteriormente mostró Gage.

En el siglo XX, Hebb y Penfield (1940) fueron los primeros en observar algunos de los hechos más sorprendentes acerca de los pacientes frontales. Dichos pacientes realizan con relativa normalidad una prueba de CI, aunque a menudo no pueden llevar nada parecido a una vida normal. Es como si tuvieran todos sus componentes cognitivos intactos, pero hubieran perdido la capacidad de organizarlos y controlarlos. La hipótesis más obvia era que los lóbulos frontales llevan a cabo estos procesos de control —los procesos ejecutivos— y que, por consiguiente, la lesión de los lóbulos frontales conduce a un desmoronamiento de los procesos ejecutivos y a un desmoronamiento de la vida normal.

Examinemos el caso del Dr. P., cuya historia se describe en el Manual de Lezak (1983) y reproducimos aquí. El Dr. P. era un famoso cirujano de mediana edad que utilizaba los ingresos económicos de su profesión para llevar a cabo su pasión por viajar y practicar diversos deportes. Mientras se le realizaba una intervención quirúrgica facial de poca importancia, sufrió complicaciones que hicieron que su cerebro estuviera privado de oxígeno durante un breve periodo de tiempo. Esto produjo daños en áreas de los lóbulos frontales. Los daños tuvieron marcadas consecuencias negativas en su funcionamiento mental, afectando a su capacidad para planificar, para adaptarse a los cambios y para actuar de forma independiente. Las pruebas estandarizadas de CI que se le aplicaron después de la intervención revelaron que la mayor parte de las capacidades intelectuales del Dr. P. se mantenían en el nivel superior; aunque no pudiera enfrentarse a muchas de las actividades cotidianas sencillas y fuera incapaz de apreciar el alcance de sus alteraciones. Su disfunción era tan grave que no sólo la vuelta a su trabajo como cirujano quedaba descartada, sino que su hermano tuvo que hacerse cargo legalmente de él. Antes, el Dr. P. había hecho malabarismos para compatibilizar muchas obligaciones y se había adaptado con flexibilidad a situaciones de cambio y obligaciones. Sin embargo, ahora era incapaz de llevar a cabo incluso las rutinas más elementales y éstas sólo podía hacerlas de un modo rígido, no flexible. Además, había perdido la capacidad de iniciar una acción y la de planificar. Su cuñada tenía que decirle que se mudara de ropa y su familia sólo consiguió que lo hiciera por sí mismo después de años de insistir en ello. Fue capaz de trabajar como conductor de una camioneta de reparto en el negocio de su hermano, pero tan solo porque su hermano organizaba el día de tal manera que no había que planificar prácticamente nada. Su hermano le informaba sólo de una entrega cada vez. Después de cada entrega, el Dr. P. le telefoneaba para que le diera la dirección de la siguiente entrega. El Dr. P. era totalmente inconsciente de su estado. Parecía despreocupado y desinteresado sobre cómo se le proveía de ropa, comida y alojamiento y estaba totalmente complacido con el hecho de estar bajo la tutela de su hermano y su cuñada. Habiendo sido antes un hombre destacado, ahora hablaba de una forma monótona y expresaba muy poco las emociones. No iniciaba actividad alguna ni preguntaba acerca de su vida y se contentaba con pasar su tiempo libre viendo la televisión.

Esta es la historia de un hombre en el que se han desmoronado los procesos ejecutivos. La incapacidad del Dr. P. para darse cuenta del alcance de sus alteraciones sugiere una pérdida del control de sí mismo; su incapacidad de compatibilizar obliga-

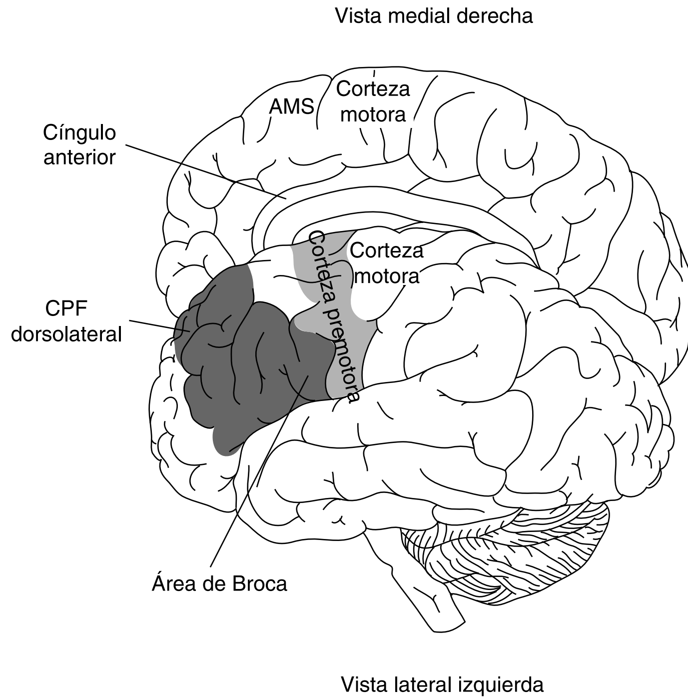



**FIGURA 7-2** El síndrome del lóbulo frontal comienza aquí

Estas vistas del cerebro —una vista lateral del hemisferio izquierdo y, tras ella, una vista medial de parte del hemisferio derecho— muestran las áreas implicadas: la corteza prefrontal dorsolateral, el cíngulo anterior, el área premotora y, en la región inferior de la corteza prefrontal, el área de Broca (Nota: AMS significa: área motora suplementaria, tema que se verá en el Capítulo 11).

(De *Fundamentals of Human Neuropsychology*, 5/E por Bryan Kolb e Ian Q. Wishaw © 2003 por Worth Publishers. Reproducido con autorización).

ciones implica una deficiente capacidad de cambio de la atención. Y, lo más ostensible, el Dr. P. parece haber perdido por completo la capacidad de establecer una secuencia de actividades para conseguir un objetivo. Este cuadro clínico recibe el nombre de *síndrome del lóbulo frontal*.

En realidad, el área cerebral involucrada no es la totalidad del lóbulo frontal, sino tan sólo la parte anterior de éste, la corteza prefrontal (CPF). La Figura 7-2 es un sencillo esquema del lado izquierdo del cerebro y distingue la CPF del resto de la corteza. La CPF se localiza justo delante de las áreas motoras y motoras suplementarias. En el extremo más inferior de la CPF se encuentra el área de Broca, conocida por su implicación en el control del habla (como se describe el Capítulo 6). Algunas partes del área premotora pueden entremezclarse con la auténtica CPF y en ocasiones se consideran parte de la CPF.

La CPF tiene muchas características anatómicas que la hacen apropiada para efectuar los procesos ejecutivos. Por un lado, en los seres humanos es considerablemente extensa; desproporcionadamente, si se compara con la mayoría de otros primates. Esto sugiere que la CPF pudiera ser responsable de algunas de las actividades más complejas que llevan a cabo los seres humanos, como puede ser formar una secuencia mental de un repertorio de actividades. Por otra parte, la CPF recibe información de prácticamente todas las áreas corticales perceptivas y motoras, así como de un amplia

serie de estructuras subcorticales. Esta multitud de conexiones proporciona una buena infraestructura para combinar las diferentes fuentes de información que se necesitan para regir una conducta compleja. La CPF tiene también múltiples proyecciones retroactivas a los sistemas sensitivos, corticales y motores que le permiten ejercer una influencia de arriba a abajo sobre otras estructuras neurales, incluyendo las que median la percepción de los objetos (Miller, 2000).

La idea de que cada proceso ejecutivo está mediado básicamente por la CPF se conoce como **hipótesis ejecutiva frontal**. Esta hipótesis ha tenido una gran difusión durante largo tiempo y ha estimulado provechosamente un gran número de investigaciones. Asimismo ha aportado un marco conceptual para la creencia de que todos los procesos ejecutivos son similares en aspectos cruciales. Como veremos, la hipótesis es excesiva, pero ciertamente existe una conexión especial entre los procesos ejecutivos y los lóbulos frontales.



### *Control de comprensión*



1. **1.** ¿Qué datos relacionan directamente los procesos ejecutivos con la CPF?
2. **2.** ¿Cuáles son las características de la CPF que la hacen particularmente apropiada para mediar los procesos ejecutivos?

## 2 Daño frontal y la hipótesis frontal

Una cierta cantidad de pruebas que se utilizan para diagnosticar daño cerebral frontal demuestran el alcance de las alteraciones que se producen en el procesamiento ejecutivo. Cuando se aplican a personas sin enfermedad neurológica, estas pruebas también nos pueden decir algo respecto al modo en que operan los procesos ejecutivos.

Posiblemente, la más conocida de dichas pruebas sea la **tarea de Stroop** (mencionada en el Capítulo 3), una prueba psicológica clásica del funcionamiento de la atención ideada en los años 1930 por J. Ridley Stroop, la cual se sigue utilizando mucho hoy en día en sus diversas formas (Stroop, 1935) (véase la Figura 7-3). En la versión estándar, se presentan impresos en color nombres de colores y la tarea del sujeto consiste en decir el color en que están impresos, haciendo caso omiso del nombre del color. En unas ocasiones, el nombre del color y el color en que está impreso son *compatibles*, como cuando la palabra *azul* está impresa en ese color. En otras, el nombre del color y el color en el que está impreso son *incompatibles*, como cuando la palabra *negro* está impresa en azul. Recordémoslo, la tarea consiste en decir *el color en que está impresa* la palabra —así pues, la respuesta correcta en los ejemplos que acabamos de ver es «azul»—. En el caso de sujetos normales, la exactitud de la respuesta es elevada incluso en los ensayos incompatibles, pero se requiere más tiempo para responder que en los ensayos compatibles. Es como si los sujetos tuvieran que hacer un procesamiento extra en los ensayos incompatibles, pero dicho procesamiento se logra. Los pacientes frontales que tienen lesionada en la CPF, particularmente en la región dorsolateral (esto es, la parte superior) de la CPF, presentan un patrón de resultados diferente. Su nivel de exactitud en los ensayos incompatibles es significativamente más

| | |
|---|---|
| BLANCO | BLANCO |
| NEGRO | GRIS |
| GRIS | BLANCO |
| BLANCO | NEGRO |

**FIGURA 7-3** Una prueba de Stroop para un libro impreso en dos colores

En ambas columnas, indíquese el *color en que está impresa* la palabra (sin leer la palabra) tan rápido como se pueda. ¿Se aprecia una diferencia en el rendimiento que se obtiene en cada columna?

(De *Fundamentals of Human Neuropsychology*, 5/E por Bryan Kolb e Ian Q. Wishaw © 2003 por Worth Publishers. Utilizado con autorización).

bajo que el de los sujetos sin enfermedad neurológica. La interpretación habitual de estos resultados es que para hacer bien la tarea, los sujetos han de atender selectivamente al color en que está impresa la palabra o inhibir el nombre del color (o ambas cosas); y se sabe que los sujetos con una lesión frontal tienen afectada la capacidad de atención selectiva y la de inhibición (Banich, 1997). Por lo tanto, tenemos cierto fundamento para pensar que la atención ejecutiva y la inhibición son procesos ejecutivos: los dos son claramente metaprocesos y están mediados por la CPF.

Una advertencia: se tiende a pensar que la atención y la inhibición van juntas —es difícil de imaginar cómo concentrarse en algo sin ignorar algo al mismo tiempo—. Dicho de otro modo, es difícil imaginar el procesamiento de una información sin que al mismo tiempo se inhiba el procesamiento de otra información. Pero, ¿se puede considerar que la atención y la inhibición surgen del mismo proceso subyacente? Este problema ha acosado a la Psicología cognitiva moderna desde que se implantó. En la obra de Ulric Neisser «*Psicología cognitiva*» (1967), un libro clásico que ayudó a definir el campo, el autor puntualizaba que la atención selectiva se puede lograr centrándose en la representación o proceso «que ha de atenderse», o inhibiendo todas las representaciones y procesos no pertinentes; y que a menudo es difícil experimentalmente distinguir entre concentración e inhibición. Los modelos recientes de la atención ejecutiva (véase, por ejemplo, Cohen *et al.*, 1996) abarcan tanto componentes excitadores como inhibidores. Aunque resulta útil comenzar nuestra exposición con un concepto de la atención que incluya componentes de concentración y de inhibición, más adelante consideraremos casos que requieren claramente inhibir la respuesta. Por ahora, cuando hablemos de atención ejecutiva, recordemos que a veces la inhibición puede estar también involucrada.

La tarea de Clasificación de Cartas, de Wisconsin, que se ilustra en la Figura 7-4 es otra prueba bien conocida para evaluar el daño del lóbulo frontal. Se colocan frente al sujeto cuatro cartas «estímulo», impreso en cada una de ellas un valor distintivo en cada uno de tres atributos: número, color y forma (por ejemplo, un triángulo blanco; dos estrellas azul oscuro; tres cruces azul claro; cuatro círculos de algún otro color —en este texto sólo se puede presentar una determinada cantidad de colores—). De un montón de cartas similares con valores diferentes a los de las cuatro cartas estímulo (esto es, en las que los valores se combinan de modo diferente, como puede ser: tres círculos blancos o un triángulo azul claro), los sujetos tienen que tomar una carta cada vez y agruparla con una de las cartas estímulo. La cuestión está en que a los sujetos no se les dice el criterio de agrupamiento (o clasificación) —si es el número, el color o la forma—, tan sólo si su respuesta es «correcta» o «errónea». Al principio,

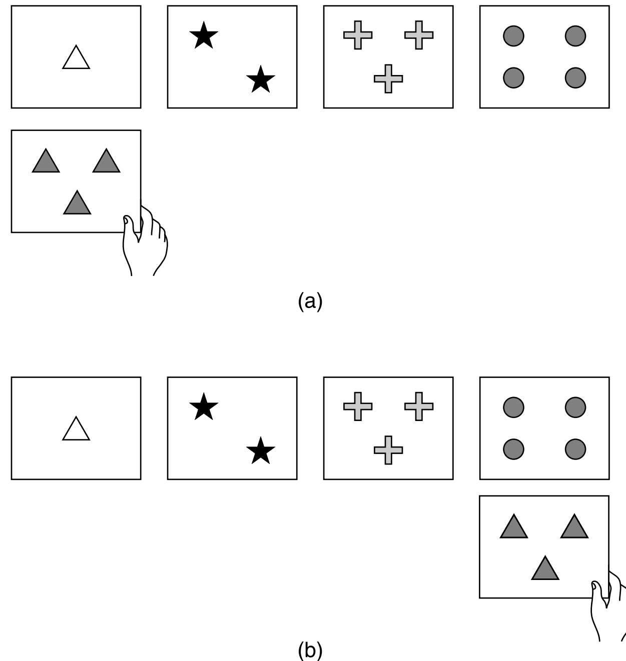



**FIGURA 7-4** Dos ejemplos de ejecución de la tarea de Clasificación de cartas, de Wisconsin

En esta serie en concreto la tarea es clasificar siguiendo el criterio de «color». (a) Una clasificación incorrecta: el sujeto está emparejando una de las cartas de la prueba basándose en la forma en vez de en el color. (b) Una clasificación correcta: el sujeto está emparejando una de las cartas de la prueba basándose en el color en vez de en la forma o el número.

(Según Banich, Marie T., *Neuropsychology: The Neural Bases of Mental Function.* © 1997 por Houghton Mifflin Company. Reproducido con autorización)

los sujetos tienen que imaginar cuál es el atributo determinante, pero dado que reciben retroalimentación después de cada respuesta acaban por hallar la respuesta correcta. Cuando han clasificado unas 10 cartas correctamente, el examinador cambia el criterio de atributo determinante sin avisar. Los sujetos normales caen pronto en la cuenta, a partir de la retroalimentación que se les da, en primer lugar de que ha cambiado el atributo determinante y, luego de cuál es el nuevo.

Resulta curioso que no haya diferencias entre el rendimiento de sujetos normales y el de pacientes frontales (con lesión en la CPF) en cuanto a identificar cuál es el primer atributo, pero hay una gran diferencia respecto a su capacidad de cambiar de un atributo a otro —un ejemplo del cambio de atención—. Los sujetos normales cambian de atributo determinante tras unos cuantos ensayos con retroalimentación negativa, pero los pacientes frontales tienen, con diferencia, menor capacidad de cambiar de atributo y a menudo siguen durante muchos ensayos clasificando conforme al atributo determinante original (Banich, 1997). En efecto, hay informes anecdóticos de pacientes frontales que pueden decir que el atributo determinante ha cambiado, pero aun así continúan clasificando basándose en el atributo original. Esto sugiere que el cambio de atención es otro proceso ejecutivo que resulta perjudicado por la lesión del lóbulo frontal.

Hay otras evidencias sistemáticas de que la atención ejecutiva, la inhibición y el cambio de atención participan en el rendimiento en pruebas del lóbulo frontal (véase

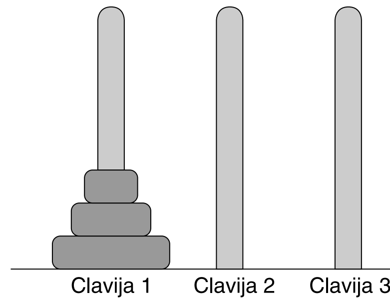



**FIGURA 7-5** El problema de la Torre de Hanoi de tres arandelas

Al comienzo, las tres arandelas están en la misma clavija, como se muestra aquí. La tarea consiste en mover las tres a la clavija número 3, con la condición de que sólo se puede mover una cada vez y que nunca se puede colocar una mayor sobre otra menor.

Miyake *et al.*, 2000). Para lo que aquí se pretende basta con examinar tan solo una tarea más de lóbulo frontal, el problema de la Torre de Hanoi (véase la Figura 7-5). (Se puede buscar en Internet una versión electrónica del problema de la Torre de Hanoi y jugar unas cuantas rondas; enseguida se hace obvio lo que requiere la tarea). En su versión más sencilla, en la tarea hay tres clavijas y tres arandelas de distinto tamaño. Al comienzo, todas las arandelas están en la clavija 1; la tarea del sujeto es mover las tres a la clavija 3, con la condición de que sólo se puede mover una arandela cada vez y de que nunca se puede colocar una arandela grande sobre otra más pequeña. Otra dificultad más: se les pide a los sujetos que resuelvan el problema «en la cabeza» —sin objetos que manipular, ni versión de ordenador, ni lápiz y papel—. Una vez que han hecho esto, se les pide que lleven a la práctica su solución (moviendo realmente las arandelas o utilizando una versión de ordenador de la prueba). Los experimentos comportamentales indican cuál es una de las estrategias más usadas: el sujeto se representa mentalmente en la memoria operativa el dispositivo completo, atiende selectivamente a la arandela superior en la clavija 1 y la mueve mentalmente a la clavija 3, actualiza la memoria operativa con la nueva disposición y luego atiende selectivamente a la arandela mediana en la clavija 1 y la traslada a la clavija 2, actualiza la memoria operativa con la nueva configuración y así sucesivamente (véase, por ejemplo, Rips, 1995).

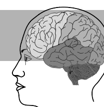
Los pacientes frontales, en particular los pacientes con una lesión en la CPF dorsolateral, tienen un bajo rendimiento en el problema de la Torre de Hanoi y necesitan hacer muchos más movimientos de los que precisa un sujeto normal para resolverlo (Shallice, 1982). En lo que respecta a los procesos ejecutivos, hay dos puntos que son fundamentales. Primero, la tarea de la Torre de Hanoi implica atender a algunas arandelas mientras que se ignoran otras, así como cambiar la atención de cada movimiento mental a la actualización de la memoria operativa; así pues, están involucrados los aspectos habituales. Segundo, la tarea implica objetivos («poner la arandela grande en la parte superior de la clavija 3») al igual que otros objetivos secundarios («sacar la arandela grande de la parte inferior de la clavija 1»). Por lo tanto, los objetivos se descomponen en objetivos secundarios y un gran problema se fracciona en otros más pequeños, lo cual sugiere que hacer un análisis por objetivos secundarios y establecer una secuencia de pasos son igualmente procesos ejecutivos. (Estos últimos procesos se estudiarán en el Capítulo 10).

Hemos destacado el caso de los pacientes con una lesión directa de los lóbulos frontales, pero otro tipo de pacientes comparten asimismo algo de un síndrome del lóbulo frontal. Aunque el síntoma más espectacular en las fases iniciales de la enfermedad de Alzheimer (EA) es la pérdida de memoria, otro síntoma que se manifiesta pronto es un bajo rendimiento en tareas de lóbulo frontal (véase, por ejemplo, Baddeley, 1986). Una de las primeras áreas del cerebro que resultan afectadas en la EA es la CPF. Por lo tanto, los pacientes con EA pueden tener el síndrome del lóbulo frontal. Además, muchos neurólogos y neuropsicólogos están prestando atención ahora a lo que llaman una *disfunción ejecutiva* en niños con dificultades de aprendizaje y en adultos que son extremadamente desorganizados y que fracasan en su profesión. El hecho de que lo que parecen ser las mismas funciones —los procesos ejecutivos— estén todos ellos afectados en diversas enfermedades y trastornos aporta más pruebas más de que estos procesos constituyen una clase diferenciada.

¿Hay otros procesos ejecutivos además de los cinco que se perfilaron al principio del capítulo? Posiblemente, —el análisis mediante objetivos secundarios y la actualización de la memoria operativa pueden ser candidatos viables (véase Banich, 1997; Gazzaniga *et al.,* 1998)—, pero ninguno de estos otros candidatos se ha estudiado tan sistemáticamente como los cinco procesos ejecutivos que vamos a analizar en lo que resta de este capítulo: la atención ejecutiva, el cambio de atención, la inhibición de la respuesta, la codificación temporal más ordenación establecimiento de secuencias de actos y la supervisión. Por otra parte, parece ser que estos cinco procesos son necesarios en muchas situaciones de la vida real.



### *Control de comprensión*



1. ¿Por qué se necesita la atención ejecutiva en la tarea de Stroop?
2. ¿Qué procesos ejecutivos se necesitan para una correcta ejecución del problema de la Torre de Hanoi?

## 3 Atención ejecutiva

La atención ejecutiva, que dirige el procesamiento posterior, se precisa siempre que compitan por el control de la cognición y de la conducta múltiples representaciones mentales que están en la memoria operativa, o múltiples procesos que operan sobre las representaciones. Cuando jugamos una partida de ajedrez, atendemos a varias piezas actuando en secuencia, como lo hacen los jugadores de la Figura 7-6. Cuando hacemos un crucigrama, atendemos a varios espacios y palabras mientras que ignoramos los demás. Cuando escuchamos una frase ambigua, atendemos a ciertos significados mientras que excluimos otros. De hecho, es difícil pensar en un suceso mental complejo que *no* requiera atención ejecutiva. La atención ejecutiva estaba seguramente dirigiéndose a la cocina cuando teníamos que atender tanto a la conversación telefónica con nuestro amigo como al agua para la pasta en el puchero.

La atención ejecutiva determina cuál de los contendientes ganará el control. Volvamos a echar un vistazo a la tarea de Stroop de decir el color en el que está impreso



**FIGURA 7-6** Aquí se requiere atención ejecutiva

Al menos los jugadores novatos que participan en este juego necesitan valerse de atención ejecutiva en cada movimiento del juego de ajedrez.
(Fotografía de Lon C. Diehl. Cortesía de PhotoEdit Inc.)

el nombre de un color, puesto que es la tarea por excelencia para entender la atención ejecutiva. En lo que respecta a los sujetos normales, el hallazgo básico es que lleva menos tiempo decir el color en que está impreso cuando el color es compatible con el nombre del color (*rojo* impreso en rojo) que cuando es incompatible (*azul* impreso en rojo). En definitiva, cuando ha de superarse una respuesta automática (esto es, una que no requiere intención consciente, tal como decir «rojo» para la palabra *rojo* aunque ésta esté impresa en azul , han de ponerse en marcha otros procesos determinados de modo que la conducta lleve a conseguir el objetivo. Con el transcurrir de los años, se han elaborado otras muchas tareas de la misma índole, por ejemplo, es más difícil indicar el color con el que está dibujado un plátano cuando dicho color es cualquier otro que el amarillo (Klein, 1964). El efecto Stroop se aplica entonces a estímulos que no son de color que, al igual que el dibujo de un plátano, hacen referencia a objetos con un color característico.

Veamos ahora una tarea que se aparta un poco más de la de Stroop, la *tarea de compatibilidad estímulo-respuesta* (Fitts y Deininger, 1954). **La compatibilidad estímulo-respuesta** es una medida del grado en el que la asignación de la respuesta correcta a un estímulo está en consonancia con el modo en el que las personas actuarían naturalmente. La compatibilidad puede ser espacial, como en un mapa orientado al frente (esto es, un mapa que se ha orientado para que en su parte superior figure lo que el espectador tiene frente a sí mismo), o simbólico (como usar una flecha apuntando hacia arriba para indicar un movimiento al frente y una flecha apuntando hacia abajo para indicar un movimiento hacia atrás.)

En una versión característica de una tarea diseñada para evaluar la compatibilidad estímulo-respuesta, se presenta un estímulo, bien en el lado derecho o bien en el izquierdo de un panel. En la condición *compatible*, los sujetos responden a un estímulo a la izquierda apretando un botón situado a la izquierda y a un estímulo a la derecha apretando un botón situado a la derecha. En la condición *incompatible,* se invierte la asignación estímulo-respuesta: ahora, los estímulos a la izquierda se emparejan con respuestas orientadas a la derecha, mientras que los estímulos a la derecha lo hacen con respuestas orientadas a la izquierda. Las asignaciones estímulo-respuesta son, por



**FIGURA 7-7** Endereza y vuela recto

Con paneles de control complejos como éstos, es importante que las asignaciones estímulo-respuesta, en el posicionamiento de los controles y en la disposición de los indicadores, sean compatibles.
(Fotografía de Tom Carter. Cortesía de PhotoEdit Inc.)

supuesto, más naturales en la condición compatible. Los tiempos de respuesta son menores en la condición compatible que en la incompatible (Kornblum y Lee, 1995; Kornblum *et al.,* 1990), hallazgo que tiene importantes aplicaciones de seguridad en el diseño industrial (véase la Figura 7-7). Este *efecto de compatibilidad* es uno de los fenómenos que se demuestran más fácilmente en Psicología cognitiva. Sorprendentemente, se puede obtener un resultado similar cuando la posición del estímulo no viene al caso. Supongamos que los sujetos han de dar una respuesta con la mano derecha siempre que aparezca un círculo y una respuesta con la mano izquierda siempre que lo haga un cuadrado. Los sujetos responden más rápido cuando el objeto —sea círculo o cuadrado— aparece en el mismo lado en que se requiere la respuesta, aun cuando la posición del objeto no tenga importancia en la tarea (Simon, 1990).

¿Qué es lo que ocurre en estas tareas? Existe tanto una conexión relativamente automática entre los estímulos y las respuestas (el color de la tinta de impresión coincide con el nombre del color o la posición del estímulo coincide con la posición de la respuesta), como una conexión arbitraria (el color de la tinta se asocia arbitrariamente con el nombre del color o la posición de la respuesta es la opuesta a la posición del estímulo). Cuando la conexión es automática, se precisa poca atención ejecutiva. (Incluso después de sufrir el daño cerebral, el Dr. P. aún podía llevar a cabo las rutinas más básicas de la cirugía; supuestamente las que fueran de tipo automático). Pero cuando las dos fuentes de información no son compatibles, hay que atender a la información pertinente —«es el color lo que importa»— y quizá inhibir la conexión automática. (Al parecer, el Dr. P. no podía hacer esto. Sólo podía desempeñar tareas rutinarias de un modo rígido, inflexible). Esta «atención e inhibición» equivale a cierto trabajo cognitivo extra y por lo general somos conscientes de tener que hacerlo.

## 3.1. Un modelo de red neural de conflicto en el procesamiento

La mayoría de los investigadores están de acuerdo con la formulación de «atención e inhibición» que se ha descrito más arriba, pero la cuestión reside en explicar pormenorizadamente los detalles. En la tarea de Stroop básica, el sujeto ha de atender al color de la tinta de impresión y quizá inhibir la palabra del color. ¿Cómo se hace esto exactamente —¿qué representaciones y procesos están involucrados?—. Se han hecho una serie de propuestas (véase, por ejemplo, Kornblum *et al.,* 1990; Zhang *et al.,* 1999), pero quizá la que ha tenido más influencia es un modelo de red neural que han elaborado durante años Jonathan Cohen y colaboradores (1990, 1996). Es más fácil entender este modelo si lo desarrollamos en etapas; en la Figura 7-8 se representa la primera de ellas.

Este es un modelo relativamente sencillo —la información fluye tan solo en dirección ascendente— que consta de tres capas: la capa de entrada (*input*), la capa oculta y la capa de respuesta. (Los modelos de redes neurales se revisaron en el Capítulo 1; véase la Figura 1-14). Los nódulos se pueden concebir como representaciones, y las conexiones como asociaciones entre nódulos; estas asociaciones varían en peso o en fuerza de conexión. Para simplificar la figura, el peso relativo de una conexión se representa con en el grosor de la línea en vez de mediante un número, y no se han designado los valores de activación de las representaciones —se puede asumir que todos son iguales (al comienzo)—. Las conexiones marcadas con cabeza de flecha son exci-

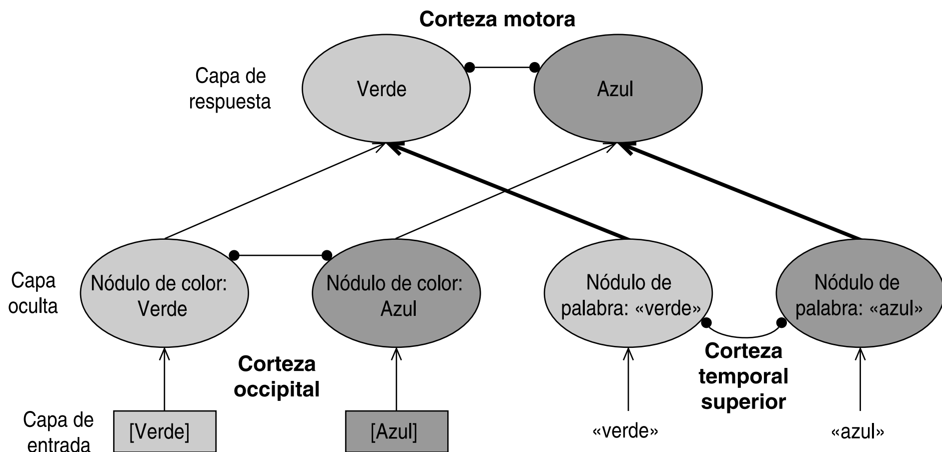



**FIGURA 7-8** Un modelo de red neural con tres capas del procesamiento cognitivo en la tarea de Stroop

La capa inferior es la capa de entrada (*input*), en donde se codifica tanto la información sobre color como sobre palabra. Desde aquí la información se transmite a la capa oculta («oculta» porque no existe una conexión directa con el medio externo): la información sobre color se transmite a los nódulos de color correspondientes y la información sobre palabra a los nódulos de palabra correspondientes. (En esta capa, y en las demás, debido a que este texto tiene un número de colores limitado, los nódulos que codifican el azul se representan en gris oscuro y los que codifican el verde, en gris claro. La capa superior es la capa de respuesta: tanto la información sobre color como la información sobre palabra procedentes de la capa oculta se transmiten a los nódulos correspondientes de la capa de respuesta. Se supone que las conexiones entre los nódulos de palabra en la capa oculta y sus correspondientes nódulos de respuesta son más fuertes que las conexiones equiparables entre los nódulos de color y sus correspondientes nódulos de respuesta (como se indica con el grosor relativo de las líneas). Los nódulos de palabra deberían prevalecer en la capa de respuesta y el sujeto debería cometer muchos errores en los ensayos incompatibles. Se indican las estructuras neurales que probablemente median cada componente cognitivo. Las líneas con cabeza de flecha señalan conexiones excitadoras; las líneas que acaban en puntos indican conexiones inhibidoras. (Véase el texto para saber otras características de este modelo).

tadoras, son las que envían activación de un nódulo a otro; las conexiones con puntos negros son inhibidoras, disminuyen el nivel de activación del nódulo que las recibe. Obsérvese que en el interior de la capa oculta y la de respuesta, las conexiones son en gran parte inhibidoras (como en la tarea de Stroop, en la que el estímulo sólo puede ser un color —«si es azul, no puede ser verde»— y sólo se puede dar una respuesta).

Cuando se presenta el *input* durante la tarea de Stroop, por ejemplo, la palabra «azul» impresa en verde, se activan tanto la representación del color como la representación de la palabra (véanse la capa de entrada y la oculta en la Figura 7-8). Debido a que la representación de la palabra en la capa oculta tiene una conexión más fuerte con su nódulo de respuesta adecuado —esta conexión es relativamente automática—, por lo general se activará el nódulo de respuesta correspondiente a la palabra del color (*por lo general,* no *siempre,* ya que hay «ruido» en el sistema). Así pues, incluso los sujetos normales deberían cometer muchos errores en los ensayos incompatibles, por ejemplo, respondiendo azul aunque el color sea verde. Pero no lo hacen, luego algo falla en el modelo.

Lo que falla es que el modelo no tiene un componente de atención ejecutiva. Este componente (y otro más) se ha añadido en la Figura 7-9. Cohen y colaboradores (por ejemplo, Cohen *et al*., 1996) se refieren a este componente como el **regulador de la atención**. El regulador de la atención contiene un indicio del objetivo actual y añade activación a los nódulos que son de interés para dicho objetivo. Así pues, siguiendo con la tarea de Stroop como ejemplo, el regulador de la atención indica el objetivo actual —«responder basándose en el color en que está impresa la palabra»— y añade activación a todos los nódulos de color en la capa oculta, de forma tal que sus conexiones con los nódulos del nivel de respuesta son más fuertes que las conexiones bien

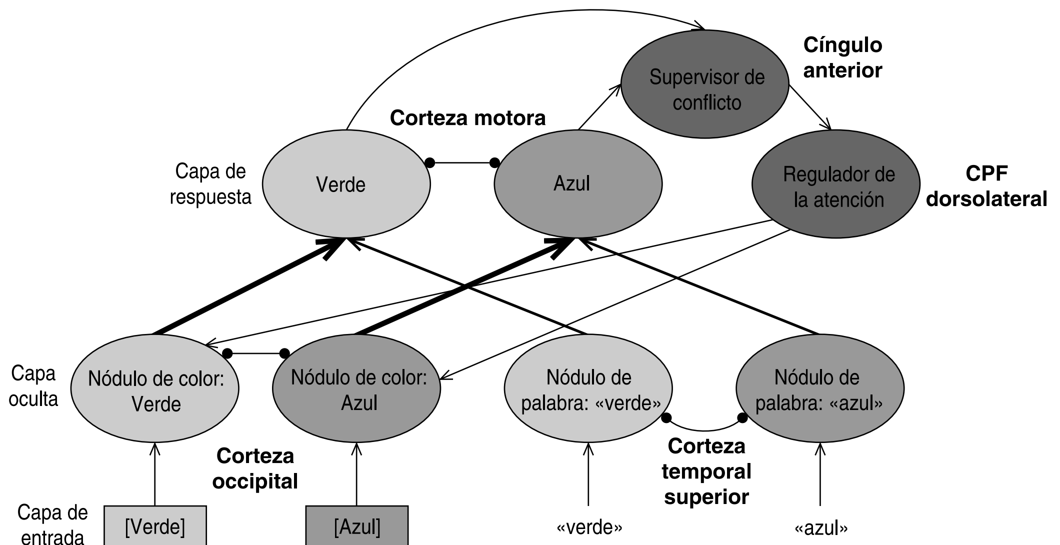



**FIGURA 7-9** Modelo reformado para la tarea de Stroop

Los componentes cruciales añadidos al modelo de la Figura 7-8 son un *regulador de la atención*, que añade activación a todos los nódulos de color de la capa oculta, de modo que sus conexiones con los nódulos correspondientes de la capa de respuesta son ahora más fuertes que las conexiones entre los nódulos de palabra y sus correspondientes nódulos de respuesta; y un *supervisor de conflictos*, que supervisa el grado de conflicto en la capa de respuesta. Se indican las estructuras neurales que supuestamente median cada componente cognitivo.

aprendidas (y, por tanto, fuertes) entre los nódulos de palabra y sus correspondientes nódulos de respuesta. El resultado es que ahora los sujetos deberían responder con mucha exactitud, incluso en los ensayos incompatibles, como de hecho lo hacen. Ahora, cuando la palabra «azul» esté impresa en verde, la conexión entre el nódulo del color y su nódulo de respuesta correspondiente prevalecerá en el procesamiento. ¿Pero, por qué los ensayos incompatibles llevan más tiempo que los compatibles? Porque algunas de las activaciones procedentes de los nódulos de palabra siguen accediendo a sus nódulos de respuesta correspondientes; en los ensayos compatibles esta activación se sumará a la activación del nódulo de respuesta apropiado, pero en los ensayos incompatibles la activación inadecuada competirá con la adecuada procedente del nódulo de color. (Se da competición debido a que existen conexiones inhibidoras entre los nódulos de respuesta).

El otro componente adicional que aparece en la Figura 7-9, el cual integra la totalidad del modelo, es el **supervisor de conflicto**. Este componente supervisa el grado de conflicto que existe entre los nódulos de la capa de respuesta y, cuando aumenta el conflicto, el supervisor recluta a la atención ejecutiva. El supervisor de conflicto aumenta la atención, a través del regulador de la atención, en la medida en que se acrecienta el conflicto. (El conflicto entre dos respuestas es alto cuando ambas tienen proximadamente el mismo grado de activación y es menor cuando la diferencia de activación es más pronunciada). De modo que el cuadro completo es el siguiente: cuando la respuesta que se requiere es automática o sencilla, no hay conflicto en la capa de respuesta y no se necesita emplear la atención ejecutiva. (Este es el caso cuando se les presenta a los sujetos nombres de colores impresos en colores diferentes y la tarea consiste sólo en *leer las palabras*, lo cual es un proceso automático para un adulto alfabetizado). Pero cuando la respuesta que se requiere no es automática, se dará un conflicto cuantificable en la capa de respuesta, que será detectado por el supervisor de conflicto, que a su vez activará la atención ejecutiva, que a su vez impone los requerimientos del objetivo que se está procesando en el momento. (Esto es lo que sucede cuando los sujetos tienen que decir colores impresos que son incompatibles con el nombre del color). En lo que respecta al fallo total del rendimiento en pacientes con lesiones frontales, supuestamente esto se debe a un déficit de atención ejecutiva. Por lo tanto, el modelo representado en la Figura 7-8, que carece de un componente relacionado con la atención ejecutiva y de una señal para involucrarla, representa un posible modelo del rendimiento de los pacientes con lesión del lóbulo frontal.

También se ha progresado en cuanto a especificar las bases neurales de los componentes cruciales del modelo de red neural que se muestra la Figura 7-9. Los investigadores han llevado a cabo muchos estudios de neuroimagen en sujetos durante la ejecución de la tarea de Stroop y otras tareas relacionadas; Jonides *et al.,* (2002) revisaron una serie de tales estudios para determinar si ciertas regiones comunes se activaban en todas estas tareas de atención ejecutiva. Los resultados se presentan en la Figura 7-10. Cada símbolo representa una activación observada en uno de los estudios. Un grupo significativo de símbolos se localiza en el cíngulo anterior (que se sabe está relacionado en procesar la supervisión). Otro se encuentra en una región que se entremezcla con el cíngulo anterior en su extremo más ventral, y la tercera región significativa está en la CPF dorsolateral del hemisferio derecho. Se sabe que esta última área juega un papel importante en la memoria operativa y en los procesos ejecutivos (como se vio en el Capítulo 6) y que está estrechamente conectada con la región anterior del cíngulo.

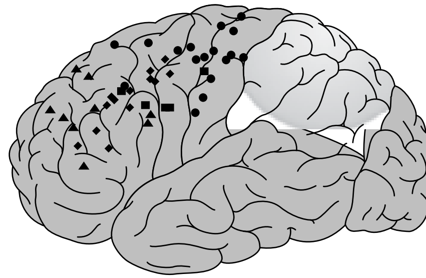



**FIGURA 7-10** Resumen de los resultados de neuroimagen obtenidos en la tarea de Stroop

Los puntos en este esquema del cerebro representan las zonas de mayor activación observadas en diversos estudios de neuroimagen realizados durante la ejecución de la tarea de Stroop (representadas con diferentes símbolos). Los puntos conforman una amplia aglomeración que se extiende desde la CPF dorsolateral al cíngulo anterior.

(Jonides J., Badre D., Curtis C., Thompson-Schill S. L. y Smith E. E. (2002). Mechanisms of conflict resolution in prefrontal cortex. Adaptado de *The Frontal Lobes,* edited by D. T. Struss y R. T. Knight. Copyright © 2002 por Oxford University Press. Reimpreso con permiso de Oxford University Press.)

Estos resultados encajan relativamente bien con la teoría. Supuestamente, el cíngulo anterior media las funciones del supervisor de conflicto y la CPF dorsolateral media la atención ejecutiva. Existen algunas pruebas de neuroimagen sorprendentes que evidencian esta propuesta. El testimonio procede de un experimento de RMf (McDonald *et al.,* 2000) que incluía la tarea de Stroop y una tarea de lectura. En la parte 1 de cada ensayo, se daba una consigna en la que se le indicaba al sujeto si la tarea iba a ser decir el color en que estaba impresa la palabra o leer la palabra. La parte 2 tenía lugar algunos segundos más tarde y en ella se presentaba el nombre de un color impreso en un color determinado. Analicemos lo que pudo suceder durante la parte 1: si se les decía a los sujetos que iban a hacer una tarea de lectura (y si éstos tenían experiencia en leer), entonces no se requería atención ejecutiva; en cambio, si se les decía que iban a hacer una tarea de denominación del color, éstos sabían que necesitarían valerse de la atención (se supone que lo sabían por experiencias anteriores, posiblemente por su experiencia en los ensayos de práctica). Al saber que iban a necesitar ayudarse de la atención, ponían en marcha la atención ejecutiva. Dado que la atención ejecutiva está mediada por la CPF dorsolateral, las imágenes de la actividad del cerebro deberían revelar una diferencia entre la actividad de la CPF dorsolateral en la parte 1 en cada condición experimental. Pero no debería haber diferencia en la actividad del cíngulo anterior, puesto que aún no existía conflicto —la verdadera tarea, que implica conflicto, todavía no se había presentado—. Ésta fue exactamente la pauta de actividad cerebral que se encontró (véase la Figura 7-11a).

Consideremos ahora qué pudo ocurrir en la parte 2 de esos ensayos, cuando los sujetos tenían que decir el color en la tarea de Stroop. En los ensayos incompatibles, debería haber conflicto en la capa de respuesta. Esto debería ser advertido por el supervisor de conflicto, el cual está mediado por el cíngulo anterior. Así pues, las imágenes de la actividad cerebral cuando se nombran los colores durante la parte 2 deberían revelar diferentes niveles de actividad en el cíngulo anterior según se realicen ensayos compatibles o incompatibles. De nuevo, los resultados coinciden con las predicciones (véase la Figura 7-11b).

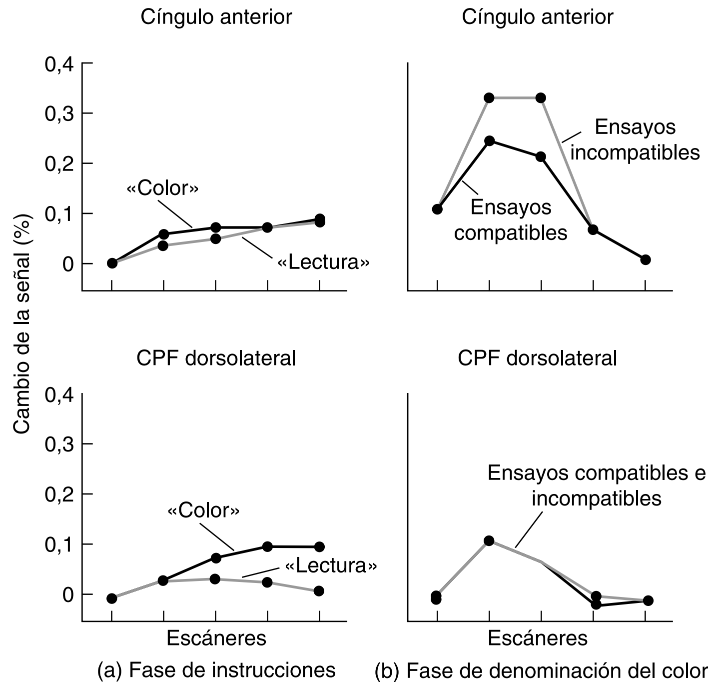



**FIGURA 7-11** Demostración de neuroimagen de una disociación entre el regulador de la atención y el supervisor de conflicto

La tarea incluye una fase de instrucciones, en la que se le dice al sujeto si la tarea va a ser decir la palabra («Lectura») o decir el color en que está impresa la palabra («Color»), como en la tarea de Stroop; y una fase de denominación del color, en la que el sujeto a veces ha de decir el color en que está impresa la palabra, que puede coincidir o no con la palabra del color. (a) En la fase de instrucciones, el cíngulo anterior no está afectado por la naturaleza de la tarea que se va a realizar (éste sólo «se ocupa» del conflicto); la CPF dorsolateral está más activada cuando el sujeto se está preparando para la tarea Color («se activa el regulador de atención») que cuando lo hace para la tarea Lectura. (b) En la fase de denominación del color, el cíngulo anterior presenta mayor actividad durante los ensayos incompatibles que durante los compatibles (ya que hay más conflicto en los primeros). No hay diferencias en cuanto al grado de activación entre ensayos compatibles e incompatibles en la CPF dorsolateral. (Se supone que el regulador de atención se utiliza en ambos tipos de ensayos).

(Adaptado de McDonald, A. W., Cohen J. D., Stenger V. A. y Carter C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science, 288*, 1835-1838. Reimpreso con autorización).

Otra forma de interpretar este modelo y otros semejantes (véase, por ejemplo, Polk *et al.*, 2002) se muestra en la Figura 7-12. Según se puede ver, en la tarea de Stroop y en otras tareas de conflicto, la activación viaja desde la CPF, en la parte anterior del cerebro, a una región de la zona posterior. Este procesamiento de «adelante a atrás» es el núcleo de los modelos de atención ejecutiva. En la prueba de Stroop, la activación va desde la CPF a la circunvolución fusiforme, en la zona posterior del cerebro, donde se procesa el color. En tareas que implican un conflicto en las respuestas motoras, tales como dar una respuesta con la mano izquierda a un estímulo procedente del lado derecho, la activación se transmite desde la CPF a áreas relacionadas con la planificación motora —la corteza premotora, que se sitúa detrás de la CPF—. El control se localiza en la parte delantera del cerebro; lo que se controla está bastante más atrás.

El modelo de «supervisión más atención» que hemos estado describiendo es coherente con los datos comportamentales de los pacientes frontales y con los datos com-

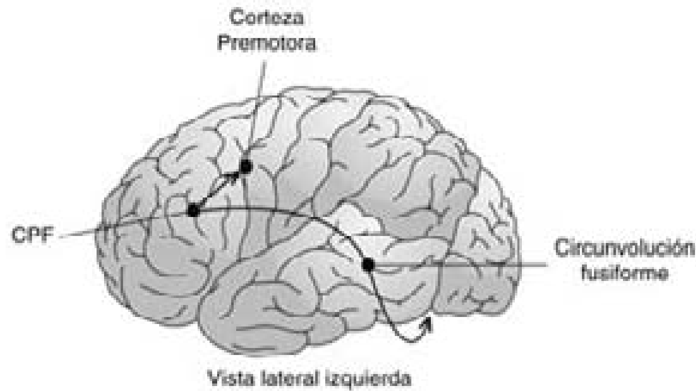



**FIGURA 7-12** Transmisión de la activación cerebral de «adelante a atrás» cuando se requiere atención

Durante la tarea de Stroop, la activación se transmite desde los centros de control de la atención en la CPF hacia atrás, hasta la circunvolución fusiforme, el área donde se procesa el color. Durante tareas de compatibilidad estímulo-respuesta que implican conflicto («responder con la mano derecha a un estímulo situado a la izquierda»), la activación se transmite desde los centros de la atención hasta la corteza premotora, situada en la región posterior a la CPF.

portamentales y los datos de neuroimagen de personas sin afectación neurológica. En la actualidad es la teoría dominante en cuanto a la atención ejecutiva. Aún así, el modelo no está exento de críticas. Una de éstas procede de investigadores que han argumentado que en la tarea de Stroop y tareas relacionadas participan más de un tipo de atención-inhibición (véase, por ejemplo, Jonides *et al.,* 2002). Según Milham y colaboradores (2001), se puede necesitar atención tanto en la capa o nivel de respuesta como en una *etapa anterior de procesamiento*, y sólo en el nivel de respuesta se activa el cíngulo anterior. Estas tesis se basan en experimentos en los que se ha empleado una antigua conocida nuestra, la tarea de Stroop. Milham y colaboradores han usado dos tipos de ensayos incongruentes. En la condición *incongruente-idóneo*, los nombres de los colores (que hay que ignorar) podían aparecer también como colores de tinta de impresión y por tanto eran posibles respuestas. Así, los colores de tinta a nombrar eran: azul, amarillo y verde y las palabras usadas: *azul, amarillo* y *verde*. En la condición *incongruente-no idóneo*, los nombres de los colores podían no aparecer nunca como color de tinta de impresión y, por tanto, estos nunca podían servir de respuesta. En este caso, los colores de tinta a nombrar eran, de nuevo, azul amarillo y verde, pero ahora las palabras eran *rojo, naranja y marrón*. Cuando se obtuvieron imágenes de RMf de los sujetos mientras realizaban esta tarea, se halló actividad en la CPF dorsolateral en los dos tipos de ensayos incongruentes, pero en el cíngulo anterior sólo en los ensayos incongruentes-idóneos, esto es, sólo en los ensayos que requerían inhibición a nivel de la capa de respuesta. Estos resultados cuestionan la idea de que el cíngulo anterior sea un supervisor de conflicto, y en vez de ello sugieren que media la inhibición de la respuesta (inhibición de una respuesta total o parcialmente preparada). En cualquier caso, no obstante, las líneas maestras del modelo se mantienen intactas; está claro que se seguirán precisando los detalles mediante la investigación que se está llevando a cabo actualmente —¡éste es un período apasionante en la historia de la Psicología cognitiva y de la Neurociencia cognitiva!—.

## 3.2. Atención ejecutiva y categorización

La atención ejecutiva juega un papel importante en un proceso mental al que nos dedicamos varias veces al día: asignar un objeto a una categoría. Esto es lo que hacemos cada vez que reconocemos a un animal determinado como un perro (asignamos ese animal a la categoría PERRO) o cuando identificamos una estructura extraña parecida a un saco de judías como una silla (asignamos ese objeto a la categoría SILLA). (La categorización se examinó en profundidad en el Capítulo 4).

Rips (1989) estaba interesado en demostrar que en la categorización hay algo más que la similitud del objeto «a categorizar» y la representación de memoria a largo plazo correspondiente. En cada ensayo de su experimento, se les describió concisamente a los sujetos un «objeto de prueba» (objeto a examinar en la prueba) y se les ofrecieron dos categorías; por ejemplo, la descripción podría ser: «un objeto que tiene un diámetro de 7,5 centímetros» y las dos categorías: PIZZA y moneda de CUARTO DE DÓLAR. Adviértase que una de las categorías, CUARTO DE DÓLAR, es fija en cuanto a la dimensión mencionada en la descripción —las monedas de un cuarto de dólar tienen un tamaño específico, mucho menor de 7,5 cm de diámetro; la otra categoría, PIZZA, permite una amplia variación en la dimensión pertinente—. Esta distinción entre las categorías *fija y variable* resulta ser decisiva.

Todos los sujetos debían decidir qué categoría describía mejor cada objeto de prueba. Sin embargo, las instrucciones para tomar la decisión de cómo categorizar el objeto fueron diferentes para cada grupo de sujetos. Al grupo de «similitud» o semejanza se le dijo que basara su decisión en la similitud de un objeto de prueba con las categorías. Puesto que el experimentador había elegido las descripciones de modo que fueran más o menos igualmente similares a cada categoría —el objeto de 7,5 cm de diámetro del ejemplo es aproximadamente igual de similar a las pizzas (redondas, por lo general más grandes) que a los cuartos de dólar (redondos, siempre más pequeños)— se podría esperar que las respuestas se repartieran al 50% entre las respuestas CUARTO DE DÓLAR fijas y las respuestas PIZZA variables, y esto fue, en líneas generales, lo que se encontró (Rips, 1989; Smith y Sloman, 1994). Por contraposición, en el grupo de «razonamiento» la similitud no fue suficiente. A este grupo se le dijo que siempre había una respuesta correcta y se les pidió que razonaran su decisión en voz alta. Insistir en esto debería haber inducido a los sujetos a *atender* a las dimensiones de tamaño características de cada una de las dos categorías y darse cuenta de que, ya que las monedas de cuarto posiblemente no pueden tener un diámetro de 7,5 cm (según lo estipulado por la Tesorería de EE.UU.), era más posible que el objeto de prueba fuese un miembro de la categoría variable (PIZZA) que de la categoría fija (CUARTO DE DÓLAR). De nuevo, estos fueron los resultados que se obtuvieron (Rips, 1989; Smith y Sloman, 1994), lo que indica que la diferencia esencial entre dos estrategias de categorización básicas es si interviene o no la atención ejecutiva.

Si la atención ejecutiva está realmente mediada por la CPF, entonces sería de esperar que los pacientes con un daño frontal que afecte a la CPF tuvieran dificultades en particular para tomar decisiones de categorización basadas en el razonamiento, pero no en la similitud (supuestamente, los mecanismos de similitud están distribuidos en toda la corteza). Grossman *et al.* (2003) confirmaron este postulado. En categorizaciones basadas en la similitud, no podía distinguirse entre pacientes frontales y sujetos normales de la misma edad. En marcado contraste, cuando se trataba de categorizaciones basadas en el razonamiento, los pacientes frontales siguieron eligiendo la cate-

goría fija (CUARTO DE DÓLAR) tan frecuentemente como la categoría variable (PIZZA), mientras que los sujetos normales estaban a favor de la categoría variable. Es de suponer que los pacientes frontales tienen una alteración de la atención ejecutiva y por lo tanto no pueden aplicar satisfactoriamente la estrategia basada en el razonamiento (véase *Una visión más detenida*).

Por otra parte, si la atención ejecutiva en realidad está mediada por la CPF, entonces esa área debería activarse en los sujetos normales cuando categorizan basándose en el razonamiento, pero no cuando lo hacen basándose en la similitud. Utilizando RMf como técnica de neuroimagen, Grossman *et al.,* (2002) han confirmado este supuesto.

Aquí convergen tres tipos diferentes de evidencia respecto al funcionamiento de la atención ejecutiva: (1) en estudios comportamentales con sujetos normales (PIZZA-CUARTO DE DÓLAR) se han encontrado diferentes categorizaciones tras consignas de similitud o de razonamiento; (2) en estudios comportamentales comparables de pacientes con daño frontal se ha demostrado que en estos pacientes sólo está afectada la categorización basada en el razonamiento; y (3) en un estudio de neuroimagen se halló que la CPF se activa cuando sujetos normales desempeñan la misma tarea de razonamiento, pero no cuando hacen la tarea de similitud. Es difícil imaginar un proceso cognitivo complejo que no implique atención ejecutiva operando en el contexto de la memoria operativa.

## 3.3. Papel de la consciencia

Hemos dicho en varias ocasiones que el conflicto cognitivo surge cuando la respuesta correcta tiene que determinarse mediante un proceso no automático al mismo tiempo que un proceso automático está compitiendo con él. Para los adultos alfabetizados, leer una palabra es supuestamente un proceso automático, mientras que decir el nombre del color en que está impresa no lo es (de ahí que requiera valerse de la atención); este contraste tendría que justificar los resultados que hemos visto en la prueba de Stroop. ¿Pero qué significan exactamente términos como *automático* y *no automático*? La respuesta puede implicar en parte a la consciencia.

Conforme a la mayoría de las opiniones, un **proceso automático** es aquel que puede iniciarse de modo no deliberado (en la tarea de Stroop, leemos la palabra queramos o no), que opera muy rápidamente (se necesita aproximadamente medio segundo para leer una palabra) y, lo más importante en nuestro tema, que puede operar sin *consciencia* (no tenemos que atender conscientemente a la palabra para obtener su nombre). Por lo contrario, un proceso no automático (a menudo llamado *proceso controlado*) es uno que requiere deliberación (tenemos que querer nombrar el color en que está impresa la palabra), es relativamente lento y requiere consciencia para operar (tenemos que atender conscientemente al color en que está impresa) (Posner y Snyder, 1974; Shiffrin y Schneider, 1977).

Pero, ¿a qué nos referimos aquí exactamente con el término *consciencia*? La consciencia es un estado que se acompaña de ciertos fenómenos —una experiencia— y esa experiencia supuestamente refleja ciertos tipos de procesamiento de la información. Los filósofos distinguen entre diferentes tipos de consciencia (véase, p. ej., Block *et al.,* 1997). En un nivel inferior se encuentra la *consciencia consciente*, un estado en el cual somos conscientes de los estímulos y acontecimientos que se nos presentan. A un nivel superior se encuentra la *consciencia introspectiva*, mediante la cual somos conscientes no sólo de los estímulos externos sino también de las representaciones y los

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

### Daño prefrontal, razonamiento y decisiones de categoría

Los investigadores Murray Grossman, Edward E. Smith, Phyllis Koenig, Guila Glosser, Jine Rhee y Karl Dennis quisieron verificar hipótesis acerca de la participación del lóbulo prefrontal en la decisión de categoría basada en el razonamiento o en la similitud. Sus resultados se publicaron en el año 2003, bajo el título «Categorization of Object Descriptions in Alzheimer's Disease and Frontotemporal Dementia: Limitation in Rule-Based Processing». *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience, 3* (2): 120-132.

**Introducción**

La hipótesis de los investigadores defendía que los pacientes con lesión en la corteza prefrontal tendrían afectada la capacidad de tomar decisiones de categorización basadas en el razonamiento, pero no en cuanto a las basadas en la similitud. Y esto porque tan solo las decisiones basadas en el razonamiento requieren el tipo de procesamiento que media la CPF, en particular, la atención ejecutiva.

**Método**

Se compararon sujetos normales con pacientes que se encontraban en una fase inicial de la enfermedad de Alzheimer (EA). Se sabe que estos pacientes tienen atrofia de la CPF. Los dos grupos de sujetos estaban equiparados en edad y nivel de estudios.

Se examinó a los dos grupos de sujetos en las dos tareas utilizadas en los experimentos de Rips (1989) y Smith y Sloman (1994) de PIZZA-CUARTO DE DÓLAR. En ambas tareas, un ensayo comienza con una breve descripción de un objeto (o un acontecimiento) de prueba, por ejemplo: «un objeto con un diámetro de 7,5 cm», a lo que siguen dos categorías: PIZZA Y CUARTO DE DÓLAR. En la condición de similitud, se les dijo a los sujetos que basaran sus decisiones en la similitud entre el objeto de prueba y las categorías; en la condición de razonamiento, se les dijo que había una respuesta correcta y se les pidió que «pensaran en voz alta», razonando al tomar su decisión (las monedas de cuarto de dólar tienen un tamaño fijo, las pizzas tienen un tamaño variable). Si la hipótesis de estos investigadores fuera correcta, los pacientes de EA no deberían diferenciarse de los sujetos normales en la condición de similitud, pero deberían tener un rendimiento peor que ellos en la condición de razonamiento (esto es, deberían escoger la categoría variable con menos frecuencia).

Se emplearon 25 elementos diferentes, todos ellos con la misma estructura que en el ejemplo PIZZA-CUARTO DE DÓLAR. Se utilizaron diferentes grupos de sujetos normales en las dos condiciones, similitud y razonamiento, puesto que el recuerdo de la respuesta en la primera condición podría contaminar las respuestas en la segunda condición. En el caso de los pacientes con EA, se pudo examinar a los mismos sujetos en las dos condiciones debido a que transcurrió un mes entre ambas. (Pasado un mes, los pacientes con EA habían perdido todo recuerdo de la primera prueba; la pérdida de memoria es el síntoma primario de la EA).

**Resultados y discusión**

Los datos de interés son el porcentaje de veces que cada grupo de sujetos eligió la categoría variable. En la condición de similitud, el 58 % de los sujetos normales y el 59% de los pacientes con EA eligieron la categoría variable. No hubo diferencias entre los grupos cuando la atención ejecutiva (y, por lo tanto, la CPF) no intervenía. Este hallazgo es coherente con la hipótesis. En la condición de razonamiento, el 78% de los sujetos normales eligieron la categoría variable frente a sólo el 58% de los pacientes con EA. Los sujetos normales lo hicieron mejor que los pacientes con EA cuando se requería atención ejecutiva (y recursos de la CPF). Este hallazgo supone un claro apoyo de la hipótesis.

procesos internos. La distinción es importante cuando se trata de cuestiones tales como si ciertos tipos de daño cerebral afectan de forma diferenciada a diferentes tipos de consciencia y si las especies no humanas pueden tener consciencia consciente, pero no consciencia introspectiva. Está claro que el tipo de consciencia del que hemos estado hablando es el tipo introspectivo, ya que hemos analizado modelos en los que supervisamos si existe un conflicto interno.

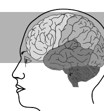
Hay acuerdo en que los recursos de procesamiento de la información que dan lugar a la consciencia son limitados (tal como sugirió William James hace más de 100 años). En consecuencia, sólo podemos ser conscientes de un número limitado de cosas al mismo tiempo. De hecho, algunos han situado este límite en una (McElree y Dosher, 1989). Si se postula que los recursos son limitados, el procesamiento que subyace a la consciencia se parece mucho a la atención y, en efecto, los dos conceptos están estrechamente interrelacionados. Puede ser que cada vez que atendemos a un estímulo o representación mental seamos conscientes de ellos (esto se ha asumido a lo largo de gran parte de este libro). Aún existe controversia sobre cuál es exactamente la función de los fenómenos que acompañan a la consciencia.

Mientras que los procesos no automáticos parecen requerir los recursos que dan lugar a la consciencia, no es así en el caso de los procesos automáticos. Generalmente no somos conscientes del procesamiento que conlleva leer una palabra o alcanzar una taza. En muchos casos que en un principio requirieron procesamiento consciente, éste ya no se precisa después de una larga práctica. El deporte proporciona algunos ejemplos excelentes. Los jugadores de tenis pueden ser muy conscientes de los actos que componen sus saques, recordándose a sí mismos que primero han de llegar al punto de destino de la pelota y después echar la raqueta hacia atrás, pero los jugadores con experiencia realizan estos actos fundamentales de forma inconsciente.

¿Qué sabemos sobre las bases neurales de la consciencia? Se ha sugerido que en situaciones de conflicto, como la tarea de Stroop, el cíngulo anterior se pone en funcionamiento sólo cuando el conflicto es consciente (Jonides *et al.*, 2002). Una hipótesis más amplia ha sido ofrecida por nada menos que Francis Crick (el codescubridor de la estructura del ADN) en un trabajo conjunto con Christof Koch. Basándose en una serie de resultados cognitivos y neurocientíficos, Crick y Koch (1995) han especulado que la información no puede hacerse consciente hasta que alcanza el lóbulo frontal. Sólo el tiempo dirá si esta sugerencia responde a la realidad.



### *Control de comprensión*



1. ¿En qué se diferencian los pacientes con daño frontal de los sujetos normales al realizar la tarea de Stroop?
2. ¿Cuáles son los dos componentes del modelo de red neural de la tarea de Stroop que entran en juego en los ensayos incompatibles?

## 4 Cambio de atención

Nos encontramos en la cocina, el teléfono suena, el agua comienza a hervir, una canción comienza a sonar en los altavoces. Seguimos con lo que estamos haciendo en este ambiente saturado por la atención ejecutiva, centrándonos en un aspecto u otro de lo

que ocurre, según se necesita. ¿Cómo podemos conseguirlo —cómo podemos pasar de atender al teléfono a atender a la pasta?— Para controlar el procesamiento interno, no sólo hemos ser capaces de atender a ciertas representaciones y procesos, sino que también hemos ser capaces de *cambiar* nuestra atención de una representación o proceso a otro. En el **cambio de atención**, el foco de atención se traslada de una entidad a otra, de modo que sea posible tener la cena en la mesa.

## 4.1. El coste del cambio

El cambio de atención se ha estudiado frecuentemente haciendo que los sujetos realicen una tarea en el primer ensayo, una segunda en el ensayo siguiente y retornando luego a la primera tarea en el tercer ensayo, a la segunda tarea en el cuarto ensayo y así hasta que se completa una serie de ensayos. Por ejemplo en todos los ensayos puede haber un dígito y una letra, en el ensayo 1 el sujeto tiene que atender al dígito y decidir tan rápido como pueda si es mayor o menor de 5; en el ensayo 2, el sujeto ha de atender a la letra y decidir si es vocal o consonante; tras eso, vuelta a las decisiones sobre dígitos; después, decisiones sobre letras y así sucesivamente (véase, por ejemplo, Rogers y Monsell, 1995). Esta alternancia de tareas se compara con el caso en el que los sujetos realizan la misma tarea a lo largo de una serie completa de ensayos. Los sujetos sólo toman decisiones acerca de «por encima o por debajo de 5» durante una serie completa de ensayos y luego decisiones acerca de «vocal o consonante» en una segunda serie completa. Las series con tareas alternativas se denominan *bloques alternantes*; las series con una sola tarea, *bloques puros*. Para comprobar si el acto de cambiar lleva tiempo, se resta el promedio de tiempo que se requiere en los bloques puros del necesitado en los bloques alternantes. El resultado general, y se ha obtenido en muchas ocasiones, es que los sujetos requieren más tiempo para responder en los bloques alternantes que en los puros. Esta diferencia de tiempo, usualmente del orden de 100 a 300 milisegundos, suele llamarse **coste del cambio**.

¡Pero esperemos un minuto! —la condición de alternancia no parece tener mucho que ver con lo que pasa en la vida real—. No alternamos cocinar con hablar por teléfono siguiendo algún tipo de programación —¿y qué ocurre si surge una tercera obligación que reclama nuestra atención?— Lo que ocurre en la vida real es que atendemos a cada obligación según se requiere; hacemos cada tarea según se necesita y es impredecible qué tarea se requerirá en cada momento. ¿Existen estudios destinados a entender este tipo de cambio *ad hoc*? Sí, existen.

Por ejemplo, un experimento realizado por Garavan (1998) satisface los requisitos; una versión de éste se representa en la Figura 7-13. En cada ensayo, los sujetos ven, por ejemplo, o bien una flecha que apunta a la derecha, o bien una que apunta a la izquierda y su tarea consiste en mantener una cuenta acumulativa de la aparición de cada tipo de flecha. Supuestamente, las dos cuentas acumulativas se mantienen listas para actuar en la memoria operativa. Una vez que se ha presentado el estímulo y se ha actualizado la cuenta apropiada, el sujeto pulsa un botón para pasar al estímulo siguiente. Como veremos, el tiempo que lleva apretar el botón se puede utilizar para evaluar el coste del cambio. Al final de un bloque de ensayos (entre 15 y 20), se examina al sujeto de las dos cuentas finales; la exactitud de la respuesta suele ser alta. Una exactitud alta indica que el proceso de cambio funciona —¿pero, a qué precio?—.

Cuando ensayos sucesivos implican el mismo estímulo (por ejemplo, una flecha que apunta a la derecha seguida por una flecha que apunta a la derecha), los sujetos

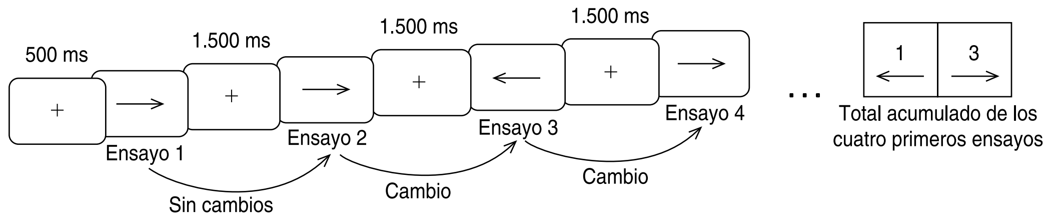



**FIGURA 7-13** Secuencia de ensayos en una tarea de cambio de atención

Los sujetos han de mantener cuentas acumulativas separadas para las flechas que apuntan a la izquierda y las que apuntan a la derecha; en cada ensayo presionan un botón para indicar que han actualizado la cuenta apropiada. Entre los ensayos, aparece un punto de fijación (un signo más) en la pantalla durante 1.500 ms. En este ejemplo, no hay cambio en los cómputos del ensayo 1 al 2, pero sí del ensayo 2 al 3 y del 3 al 4.

(Hernández-García, L., Wagner, T. D. y Jonides, J. (2003). Functional brain imaging. En J. Wixted y H. Pashler (eds.) *Stevens Handbook of Experimental Psychology*, 3 ed., Vol. 4: Methodology in Experimental Psychology, pp 175-221. New York: Wiley and Sons, Inc. Reimpreso con autorización).

tienen que actualizar la misma cuenta con la que habían estado trabajando. Pero cuando en otros ensayos sucesivos cambia el estímulo (p. ej., a una flecha que apunta a la derecha le sigue una que apunta a la izquierda), los sujetos tienen que cambiar de una cuenta a otra para actualizarla. El tiempo necesario para presionar el botón y pasar al siguiente estímulo debería ser mayor —y así es— cuando se precisa un cambio en la cuenta que cuando no es necesario; esta diferencia en tiempo es el coste del cambio. Y el coste es considerable —del orden de 500 a 600 milisegundos—. Esta diferencia es tan grande que no se puede atribuir a algún tipo de *priming* perceptivo que pudiera ocurrir cuando se ven en sucesión estímulos idénticos. Es cierto que haber visto el estímulo antes podría «engrasar la maquinaria» para verlo de nuevo y por lo tanto contribuir a que los sujetos respondan más rápidamente cuando aparecen en sucesión los mismos estímulos (un tipo de memoria implícita); sin embargo, tales efectos de *priming* visual son mucho menores que la diferencia encontrada aquí. Así pues, el coste del cambio es evidente incluso en tareas que tienen el mismo carácter impredecible que las situaciones naturales.

## 4.2. Un marco de referencia para entender el cambio de tarea

Una serie de estudios realizados por Rubenstein *et al.* (2001) aporta sólidas pruebas de que el cambio atención es un metaproceso —un proceso que coordina otros procesos— que también proporciona un marco del procesamiento de información para entender el cambio de tarea. Se les pidió a los sujetos que cambiaran la atención entre diferentes atributos de estímulos multidimensionales. La tarea, basada en la idea de alternancia, se diseñó ajustándose a la tarea de Clasificación de Cartas, de Wisconsin, y consiste en lo siguiente: Los símbolos impresos en cuatro cartas «objetivo» varían en número, forma, color y tamaño. Los sujetos tienen que adjudicar o clasificar cada carta tomada de un mazo de cartas en uno de cuatro montones, basándose en un atributo en concreto, y deben saber siempre cuál es ese atributo. En la condición de alternancia, los sujetos clasifican basándose en un atributo, por ejemplo, la forma, en el primer ensayo —esto es, en la primera carta; después basándose en un atributo diferente, por ejemplo, el número, en el segundo ensayo; en el tercer ensayo vuelven a clasificar según la forma; en el cuarto ensayo se clasifica otra vez según el número; y

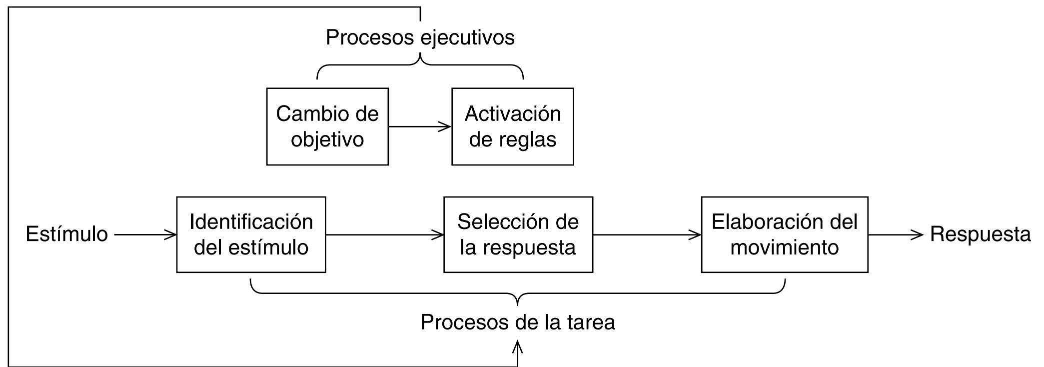



**FIGURA 7-14** Modelo de procesamiento de la información en el cambio de tarea

El modelo tiene dos niveles: el procesamiento de la tarea y el procesamiento ejecutivo, que difieren en el tipo de operaciones que realizan. Los procesos ejecutivos, de especial importancia, incluyen el cambio de objetivo de la conducta (por ejemplo, «clasificar ahora conforme al número») y la activación de reglas (por ejemplo, «atender selectivamente a la multitud de elementos»).

(Adaptado de Rubinstein, J. S., Meyer, D. E. y Evans J. E. (2001). Executive control of cognitive processing in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance,* 27(4), Fig 1 p. 770 Copyright © 2001 American Psychological Association. Modificado con autorización.)

así sucesivamente durante el bloque entero de ensayos—. En otras condiciones, los sujetos clasifican basándose en el mismo atributo durante el bloque entero (esto es, en bloques «puros»). El tiempo que lleva clasificar una carta en la condición de alternancia es mayor que el tiempo comparable en las diversas condiciones de bloque puro. Una vez más, cambiar la atención lleva tiempo.

Los mismos investigadores proporcionan un esquema de un modelo sencillo de procesamiento de la información de lo que ocurre en ésta y en otras tareas de cambio. El modelo se presenta en la Figura 7-14. En primer lugar, repárese en que existen dos niveles de procesamiento diferentes, el procesamiento de la tarea y el procesamiento ejecutivo, y que este último puede influir en el primero (de aquí, de nuevo, la idea de que los procesos ejecutivos son metaprocesos). El nivel de procesamiento de la tarea requiere la siguiente secuencia de procesos: identificar el valor del estímulo en el atributo crucial («¡es la forma de un cuadrado!»), seleccionar la respuesta apropiada («colocar esta carta en la pila de los cuadrados») y luego realizar el movimiento adecuado. El nivel de procesamiento ejecutivo requiere procesos diferentes. Primero, establecer el objetivo del ensayo («clasificar conforme a la forma»), luego activar las reglas que se necesitan para lograr el objetivo («atender a la forma»). En la condición de alternancia o de cambio, se tiene que establecer un nuevo objetivo en cada ensayo («clasificar por forma», «clasificar por número», «clasificar por forma»), mientras que en las condiciones puras no tiene que cambiarse el objetivo durante un bloque de ensayos. Este es uno de los motivos por el que cambiar la atención lleva tiempo. Además, en la condición de cambio, las reglas activadas cambian de un ensayo a otro, mientras que en condiciones puras las reglas siguen siendo las mismas a lo largo de todo el bloque de ensayos. Seguir reglas cambiantes lleva tiempo —este es el segundo motivo por el que el cambio lleva tiempo—.

Posiblemente la mejor demostración del modelo de la Figura 7-14 es que Rubenstein *et al.* (2001) pudieron demostrar que existe una doble disociación entre el nivel de procesamiento de la tarea y el de procesamiento ejecutivo. En esta doble disocia-

ción, una variable dada afecta a un nivel de procesamiento pero no al otro, mientras que otra variable muestra el modelo opuesto. El hecho de que una variable afecte al procesamiento de la tarea pero no al procesamiento ejecutivo implica que debe de existir algún mecanismo en el primero que no está presente en el segundo, mientras que el hecho de que otra variable afecte al procesamiento ejecutivo pero no al procesamiento de la tarea implica que debe de existir algún mecanismo en el primero que no está presente en el segundo. Por lo tanto, una doble disociación es una sólida prueba de que están implicados dos mecanismos diferentes.

En concreto, Rubenstein *et al.* (2001) utilizaron dos tareas aritméticas —suma y resta—, y los sujetos, o bien alternaban las dos tareas, o bien simplemente realizaban una de ellas durante un bloque entero de ensayos. Para influir en el nivel ejecutivo, los investigadores manipularon el grado de facilidad de los objetivos cambiantes incluyendo o no el signo de operación (+ o −) en el problema. La inclusión del signo de operación eximía a los sujetos de tener que recordar qué tarea debían estar realizando y por ello debería haber hecho más rápido el cambio de objetivos. Esto, a su vez, debería disminuir el coste del cambio (la diferencia de tiempo entre el rendimiento en bloques alternantes y en bloques puros), ya que este coste supuestamente se debe, en parte, al cambio de objetivos. Exactamente esto es lo que encontraron los investigadores. Por otra parte, en condiciones puras, la inclusión del signo de operación no tuvo efecto alguno; así pues, esta variable —presencia o ausencia del signo de operación— no tuvo efecto en el nivel del procesamiento de la tarea pero sí lo tuvo en el nivel de procesamiento ejecutivo. Esto es la mitad de la doble disociación.

Para completar la doble disociación, los investigadores manipularon un factor que, en teoría, debería ejercer un efecto en el nivel de procesamiento de la tarea pero no en el nivel de procesamiento ejecutivo. Dicha variable era simplemente poder discriminar los números —estos podían ser fáciles o difíciles de ver—. Como se esperaba, el hecho de que fuera difícil discriminarlos aumentó el tiempo de respuesta en todas las condiciones pero no tuvo efecto en el tiempo de cambio (debido a que esto no tenía efecto en el cambio de objetivo o en el cambio de reglas). Ésta es la otra mitad de la doble disociación.

El marco teórico representado en la Figura 7-14 también está en consonancia con otro hallazgo de los estudios del cambio de tarea: el coste del cambio se hace mayor cuando las dos tareas se hacen más similares. Supongamos el caso de que los sujetos tengan que alternar entre sumar y restar, mientras que en otro tengan que cambiar entre sumar y decir un antónimo de una palabra dada. Supongamos, además, que la tarea del antónimo lleva el mismo tiempo que la tarea de resta, de modo que el nivel de dificultad en ambos casos es el mismo y que cualquier diferencia en el coste del cambio no puede atribuirse a requerimientos diferentes de cada tarea. Obviamente, las dos tareas aritméticas son más similares que las tareas de adición y de búsqueda de antónimos. Los resultados de una serie de estudios indican que el coste del cambio es más alto en el primer caso que en el segundo (véase, por ejemplo, Allport *et al.*, 1994; Spector y Biederman, 1976). ¿Cómo explica esto el modelo? Cuanto más similares sean dos tareas, más similares serán las reglas pertinentes y mayor la posibilidad de confusión al activar las reglas; y cuanto mayor sea la confusión en estos metaprocesos, más tiempo llevará llevar a cabo el cambio. Por lo tanto, cuando se intentan activar las reglas de la resta, podría tenerse cierta dificultad en mantenerlas separadas de las reglas de la suma, pero dicha dificultad no debería surgir cuando se activan las «reglas» para dar con un antónimo.

Así pues, el modelo que se describe en la Figura 7-14 cuenta con cierto apoyo comportamental, pero no se parece en nada al modelo de atención ejecutiva que se presentó en las Figuras 7-8 y 7-9, en tanto que el primero es un esquema del modelo de procesamiento de información, mientras que los modelos de las Figuras 7-8 y 7-9 son modelos de redes neurales que incluyen mecanismos detallados.

## 4.3. La hipótesis del conmutador neural

Como hemos visto, los datos comportamentales apoyan la idea de que cuando debemos cambiar la atención se ponen en marcha mecanismos adicionales. ¿Hay algún indicio neurológico de esto? Sí, y muchos de ellos provienen de los estudios de neuroimagen. Para empezar, los sujetos de ciertos estudios han realizado la tarea de cambio de atributo utilizada por Rubenstein *et al.,* (2001) —clasificar por forma, clasificar por número, clasificar por forma, y así sucesivamente—, mientras que se registraban imágenes de su cerebro mediante TEP. Al restar las pautas de activación durante la condición pura de las de la condición de alternancia, el resultado —denominado *imagen de sustracción*— mostró un alto grado de activación en la CPF, particularmente en la CPF dorsolateral, así como una activación evidente de la corteza parietal (Meyer *et al.,* 1998). La tarea de cambio de atributos es prima hermana de la tarea de Clasificación de Cartas de Wisconsin, utilizada para detectar daño frontal —y no es de sorprender, dado que la clasificación de cartas implica cambio, que la CPF dorsolateral subyazca al proceso de cambio ni que esta área frecuentemente esté afectada en el daño frontal—.

Pero estos resultados también dan lugar a una serie de nuevas cuestiones relacionadas con el cambio de tarea y con los procesos ejecutivos en general. En primer lugar, los resultados de los estudios de neuroimagen apuntan que intervienen regiones de la corteza parietal, lo que sugiere que los mecanismos neurales que median el cambio no se confinan a la corteza frontal. Éste es el primer indicio que encontramos en contra de la sólida hipótesis del ejecutivo frontal —la cual defiende que los procesos ejecutivos están mediados sólo por la corteza frontal—. Más adelante se presentarán más pruebas de este tipo.

Un segundo tema general que deriva de los resultados de los estudios de neuroimagen atañe al grado en el que las regiones neurales se dedican a procesos cognitivos específicos. Una región asociada con el cambio —la CPF dorsolateral— se relaciona también con la atención ejecutiva. ¿Cómo es posible que una región tenga dos funciones? Quizá no las tenga —el problema puede ser metodológico—. La resolución espacial de la TEP es de unos 10 mm, lo que significa que no puede discriminar entre la activación de dos regiones diferentes del cerebro —una que lleva a cabo la atención y otra que lleva a cabo el cambio— que están a unos 10 mm una de otra. Pero esta posibilidad es dudosa, puesto que otros estudios de neuroimagen del proceso de cambio que han usado RMf, que tiene una resolución espacial mejor que la TEP, también han encontrado que el cambio, en sí mismo, se asocia con activación de la CPF dorsolateral y del cíngulo anterior, estructuras ambas en las que se ha observado activación en estudios de atención ejecutiva. Otra posibilidad es que el mismo mecanismo neural medie tanto la atención ejecutiva como el cambio de atención, pero por lo general se requieren más recursos de este mecanismo cuando se cambia la atención que cuando tan sólo se atiende. Esta posibilidad hace que surja una cuestión importante acerca de

las bases neurales del cambio de atención: ¿Hay algún indicio de que existan mecanismos neurales *dedicados exclusivamente* al cambio?

Un experimento de Sylvester *et al.* (2003) ofrece un testimonio claro en este asunto de la especificidad. Mientras se les hacía una exploración con RMf, los sujetos de su estudio trabajaban en dos clases de tareas diferentes: la tarea de cuentas acumulativas antes descrita («¿Cuántas flechas apuntan a la derecha?» y «¿Cuántas flechas apuntan a la izquierda?»), la cual es un buen ejemplo de cambio de tarea; y una tarea de compatibilidad estímulo-respuesta, tal como «estímulo a la izquierda, respuesta a la derecha» y viceversa, que supuestamente se vale de la atención ejecutiva y la inhibición. En la tarea de contar, Silvester y sus colaboradores obtuvieron la imagen de sustracción —la diferencia de activación— de las condiciones de cambio menos las condiciones de no cambio, lo que aportó una pista de la localización neural de las regiones que median el cambio. En la tarea de compatibilidad estímulo-respuesta, los investigadores obtuvieron la imagen de la sustracción de los ensayos incompatibles menos los ensayos compatibles, lo que aportó una pista de las áreas de atención ejecutiva. Ahora, el *quid* de la cuestión: la comparación de las dos imágenes de sustracción. ¿Muestran alguna diferencia sustancial? Sí, la muestran. Las áreas bien diferenciadas que intervienen en el cambio incluyen regiones del lóbulo parietal inferior y de la corteza visual extraestriada, mientras que las de la atención ejecutiva incluyen dos áreas frontales, una en la CPF anterior y otra en la corteza premotora (¿Se pregunta el lector por qué la CPF dorsolateral no mostró esta activación? La activación de esta área se anuló en la comparación crítica en este experimento debido a que la CPF se activó aproximadamente por igual durante la atención ejecutiva que durante el cambio de atención ejecutiva). Dado que distintos procesos neurales sugieren distintos procesos cognitivos, tenemos pruebas de que el proceso del cambio de atención ejecutiva es distinto al de dedicar atención ejecutiva. Este trabajo proporciona asimismo más testimonios del papel que juegan los lóbulos parietales en el cambio de atención y una prueba más en contra de la versión más radical de la hipótesis del ejecutivo frontal.

## 4.4. ¿Qué es lo que cambia?

Se habrá advertido que a lo largo de toda esta exposición del cambio hemos sido más bien imprecisos respecto a qué es exactamente lo que cambia. En los estudios de adicción-sustracción hay un cambio en la tarea presente que el sujeto ha de llevar a cabo. En las tareas de cuentas acumulativas, los sujetos cambian entre diferentes representaciones mentales que están en la memoria operativa, pero en este caso no hay un cambio real en la tarea. En algunas tareas los sujetos cambian la atención entre diferentes atributos del mismo estímulo (clasificar por número, luego clasificar por color, luego clasificar por número); tampoco aquí hay un cambio real en la tarea. Esto hace un total de tres clases de cambios —cambio de tarea, de representación y del atributo al que se atiende— y también hay otra clase de cambios. La cuestión obvia es: ¿constituye una diferencia qué es exactamente lo que cambia?

Existen ciertos indicios neurales de interés para este asunto. Los indicios provienen de un *metanálisis* (esto es, un análisis en el que se agrupan los resultados de numerosos estudios y se realiza una prueba estadística para averiguar si los estudios indican los mismos efectos) de estudios de neuroimagen referentes al cambio (Wager *et al.,* 2003). Para llevar a cabo el metanálisis, en primer lugar estos investigadores agruparon en un esquema del cerebro los picos de activación observados en estudios del

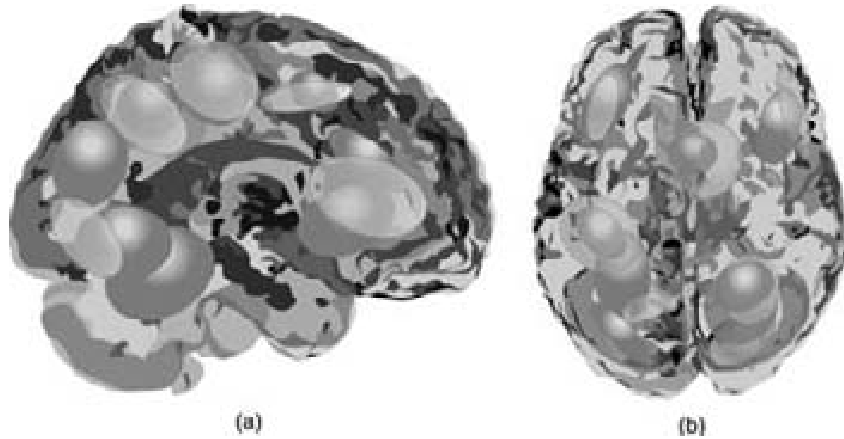



**FIGURA 7-15** Un metanálisis del cambio

Se muestran grupos de regiones activadas según datos de estudios que implican, o bien cambio de atributos, o bien cambio de tarea, sobre (y dentro de) un «cerebro transparente». (a) En esta vista es como si estuviéramos mirando a través del cerebro desde el lado derecho. Como puede verse, casi todas las agrupaciones correspondientes al cambio de atributos (representadas como áreas más oscuras circunvaladas por líneas continuas) se superponen con las agrupaciones de cambio de tarea (representadas como áreas más claras circunvaladas por líneas de puntos). Esto significa que las regiones que se activan cuando se cambia de atributos a los que se atiende son aproximadamente las mismas que las que se activan cuando se cambia de tarea —es decir, sólo debe haber un conmutador neural—. (b) En esta vista de los grupos, es como si estuviéramos mirando a través del cerebro de arriba a abajo. La conclusión sigue siendo la misma.

cambio en los que había que atender, o bien a atributos, o bien a tareas. (No existían estudios suficientes sobre cambio en representaciones de la memoria operativa para incluirlos en el análisis). Posteriormente, aplicaron un *algoritmo para grupos* —un programa de ordenador que determina si los picos recaen en agrupaciones en vez de estar distribuidos de modo uniforme en todo el cerebro—. En particular, los investigadores querían determinar: (1) si los picos correspondientes al cambio de atributos recaían en unas cuantas agrupaciones; (2) igualmente, si los picos correspondientes al cambio de tarea recaían en unas cuantas agrupaciones; y (3) el grado en que se solapaban estos dos conjuntos de agrupaciones. Los resultados se presentan en la Figura 7-15.

La Figura 7-15 muestra el cerebro como si fuera de cristal. En la Figura 7-15a, estamos mirando *a través* de la cara lateral derecha de la neocorteza. Así, podemos ver *todas* las agrupaciones (pero, puesto que hemos plegado substancialmente el cerebro en sentido horizontal, no podemos decir si un agrupamiento está en el hemisferio derecho o en el izquierdo). Lo que está suficientemente claro en la figura es la importante superposición entre las agrupaciones correspondientes al cambio de tareas y las correspondientes al cambio de atributos. Estos resultados conllevan dos conclusiones: el cambio de tareas y el de atributos parecen implicar a los mismos mecanismos neurales y muchos de los mecanismos neurales pertinentes se localizan en la corteza parietal. Esto es un nuevo argumento en contra de la hipótesis ejecutiva frontal. La Figura 7.15b ofrece los mismos datos desde una perspectiva diferente. Ahora es como si viéramos el cerebro desde arriba, descendiendo por él, de modo que esta vez podemos distinguir las agrupaciones de la derecha de las de la izquierda. Nuestras dos conclusiones permanecen inalteradas.

Estos resultados son relativamente nuevos y necesitan el respaldo de al menos dos tipos de estudios diferentes. En primer lugar, necesitamos estudios de neuroimagen

que comparen dos o más tipos de cambio en *los mismos sujetos*. El metanálisis no hace esto, ya que su *input* —los picos de activación— se obtuvo de diferentes experimentos. En segundo lugar, necesitamos experimentos comportamentales encaminados a determinar si el cambio, en diferentes aspectos, está afectado o no por diferentes factores. Al menos un estudio comportamental indica que puede haber poca diferencia entre cambiar de atributos y cambiar de objetos (Wager *et al.,* 2006). Como de costumbre, queremos evidencias convergentes.



*Control de comprensión*



1. ¿Cómo se puede demostrar el coste del cambio?
2. Según el modelo del cambio de atención que se ha analizado, ¿cuáles son las causas que subyacen al coste del cambio?

# 5 Inhibición de la respuesta

¿Cómo podemos decir cuál es la diferencia entre atender a algo e ignorar todo lo demás —dicho de otro modo, la diferencia entre centrarse en una cosa e inhibir otra?—. En la tarea de Stroop, es difícil determinar si el fenómeno básico —la mayor lentitud de respuesta en ensayos incompatibles donde el nombre del color y el color en que está impreso entran en conflicto— se debe al aumento de la activación ante el color en que está impreso, o a la inhibición del nombre de la palabra, o a ambos. Lo mismo respecto a otras muchas tareas de atención ejecutiva. Pero hay un caso —la *inhibición de la respuesta*— en el que el factor clave es claramente la inhibición, más que la atención. La **inhibición de la respuesta** es la supresión de una respuesta parcialmente preparada.

Distraídos por la llamada telefónica, alargamos la mano para retirar la cacerola de agua hirviente del hornillo eléctrico y recordamos sólo una fracción de segundo que no hemos cogido el asa —tenemos que inhibir nuestra respuesta de asirlo, tanto si tan solo se había programado como si de hecho se había iniciado—. O, al escuchar en el teléfono a nuestro amigo que nos presiona ligeramente para conseguir un favor, nos empezamos a enfadar y estamos a punto de decir algo de lo que nos arrepentiríamos. De nuevo, necesitamos inhibir una respuesta en parte preparada. Aunque la inhibición de la respuesta es sólo un tipo de inhibición, es un tipo importante que ocurre frecuentemente en la vida diaria.

## 5.1. Casos representativos de inhibición de la respuesta

Se han diseñado una serie de tareas experimentales para estudiar la inhibición de la respuesta y su sustrato neural. Una es la tarea «*go/no-go*»[1], una prueba clásica muy utilizada para evaluar las funciones del lóbulo frontal. Se les presenta a los sujetos una secuencia de estímulos, supongamos, letras, y se les dice que presionen un botón

[1] Pruebas que consisten en decidir si se realiza o se inhibe una respuesta o una acción. (*N. del T.*).

cuando aparezca cada letra (una respuesta «*go*» —o «adelante»—) *excepto* si es la X (una respuesta «*no-go*» —o «detención»—). Dado que la X aparece relativamente pocas veces, cuando lo hace está claro que la tarea requiere que el sujeto inhiba la tendencia a apretar el botón. A medida que aumenta el número de respuestas consecutivas del tipo «*go*», se hace más probable que el sujeto incurra en un error cuando por fin aparezca una X (Casey *et al.,* 1997). Supuestamente, cuanto más extensa sea la secuencia de ensayos «*go*», o mayor sea la probabilidad de una respuesta «*go*», más difícil será para un sujeto iniciar una respuesta de inhibición que invierta el procesamiento subyacente a los ensayos tipo «*go*».

Se han llevado a cabo una serie de estudios con RMf de sujetos realizando esta tarea y los resultados son de considerable interés: sugieren que la inhibición de la respuesta es un proceso ejecutivo por separado, distinto de los que hemos examinado hasta ahora. La diferencia decisiva está en las regiones que se activan en los ensayos «*no-go*» (cuando se requiere inhibir la respuesta) y en los ensayos «*go*» (cuando no se requiere inhibir la respuesta). Como ocurre frecuentemente en las tareas de procesamiento ejecutivo, se activa nuestra vieja amiga, la CPF dorsolateral. Pero otras áreas del cerebro intervienen también. Una de esas áreas es el cíngulo anterior. Aunque algunos investigadores han argumentado que el cíngulo anterior participa en las tareas que requieren atención ejecutiva, otros han proporcionado sugerentes datos indicativos de que el cíngulo anterior se activa en esas tareas sólo cuando se necesita la inhibición a nivel de respuesta (téngase en cuenta la distinción entre respuestas idóneas y no idóneas, comentada antes). Lo que quizá sea más interesante es que en la inhibición de una respuesta se activa en ocasiones otra región de la CPF, la corteza orbitofrontal (que se encuentra debajo de la CPF dorsolateral). Por otra parte, la activación en esta otra región se relaciona con el rendimiento en la tarea: los sujetos que presentan más activación en la región orbitofrontal cometen menos errores en los ensayos «*no-go*» de la tarea.

Los estudios con primates no humanos indican que la corteza orbitofrontal interviene en la inhibición (véase, por ejemplo, Iverson y Mishkin, 1970; Sakuri y Sugimoto, 1985). En dichos estudios, se ha observado que las lesiones en la CPF, particularmente en la corteza orbitofrontal, producen alteraciones en la ejecución de tareas que requieren inhibir la marcada tendencia a dar una respuesta determinada. Asimismo, estudios con pacientes humanos que tienen una lesión en esta trascendente región muestran también que los pacientes tienen menor capacidad de realizar tareas que requieren inhibir una respuesta o la tendencia a dar una respuesta determinada (Malloy *et al.,* 1993).

Otra tarea (realizada por sujetos humanos) que se basa en la inhibición de la respuesta es la tarea de la señal de *stop,* ideada por Logan (1983). En una versión habitual de esa tarea, los sujetos han de replicar con rapidez a preguntas relativas a la pertenencia a una categoría («¿La granada es una fruta?») o relativas a una rima («¿Rima *trineo* con *juego*?»). En algunos ensayos, se emite un tono *—la señal de stop—* que lleva a los sujetos a detener su procesamiento en ese ensayo y no responder a la pregunta. El determinante decisivo del rendimiento en esas tareas es el *retraso en la señal de stop*, esto es, el tiempo que transcurre entre la pregunta y la señal de *stop*. Cuanto más largo sea ese intervalo, más procesamiento habrá completado el sujeto y más probable será que la tendencia a la respuesta no pueda abortarse —y, por lo tanto, lo más probable es que el sujeto cometa un error al responder a la pregunta a pesar de la señal de stop—.

Pero, ¿cómo sabemos que la inhibición que se observa es realmente una inhibición de la respuesta y no una inhibición de algún proceso anterior? Logan (1983) tiene algunos datos decisivos al respecto. Una vez finalizado el experimento de la señal de *stop* que se ha descrito más arriba, Logan hizo por sorpresa a los sujetos una prueba de memoria de las palabras fundamentales contenidas en las preguntas de la prueba anterior. Si la inhibición generada por la señal de *stop* hubiera afectado a procesos anteriores, el recuerdo de las palabras fundamentales tendría que ser peor en el caso de los ensayos que incluían una señal de *stop* que en los que no la incluían. De hecho, no hubo diferencia de recuerdo respecto a los dos tipos de ensayos, lo que indica que la inhibición afectaba a los procesos de respuesta después de que se hubiera completado un procesamiento anterior. En estudios posteriores (De Jong *et al.,* 1995), se emplearon **potenciales provocados (PPs)** (o potenciales «evocados» por un suceso) (actividad eléctrica cerebral relacionada con un «suceso» particular, es decir, con un estímulo o una respuesta particular) junto con registro del electromiograma (medida de la actividad eléctrica en los sistemas motores) y medidas comportamentales para demostrar que la inhibición de una respuesta puede ocurrir en cualquier momento de la preparación y la ejecución de la respuesta. Las medidas de los PPs que ofrecen cierta información aproximada de la localización cerebral, fueron coherentes con la localización frontal de la inhibición de la respuesta.

La inhibición de la respuesta es de suma importancia en la vida real. Si dijéramos todo lo que nos viene a la mente o lleváramos a cabo todo acto que se nos ocurriera, posiblemente acabaríamos pronto sin amigos o algo peor. Una serie de trastornos psiquiátricos parecen caracterizarse por una falta de inhibición de la respuesta: pensemos en el discurso y el comportamiento extraño que a menudo se manifiestan en la esquizofrenia, o en la ostensible falta de inhibición de la respuesta en ciertos trastornos obsesivo-compulsivos, en los cuales los pacientes repiten una y otra vez respuestas no funcionales. O pensemos en el rasgo de personalidad de ser incapaz de aplazar la gratificación, lo que en la vida adulta suele ser un grave obstáculo para afrontar situaciones de la vida real y que muy probablemente implique un fallo en la inhibición de la respuesta. Un estudio reciente muestra que este rasgo, detectado en pruebas realizadas durante la infancia, se asocia con un deficiente rendimiento en las pruebas «*go/no-go*», detectado en la vida adulta (Eigsti *et al.,* 2006).

## 5.2. Desarrollo de la inhibición de la respuesta

«Los niños dicen cualquier cosa» —posiblemente debido a que la impulsividad, y una falta de inhibición de la respuesta, sea más frecuente en la infancia—. ¿Qué tiene esto que ver con que, hasta cierto punto, sepamos (bastante bien) cuándo mantener la boca cerrada?

Se ha realizado una considerable cantidad de investigación comportamental y neural sobre el desarrollo de los procesos de inhibición. Gran parte de esta investigación está inspirada por la creencia de que la inhibición, en particular la inhibición de la respuesta, está mediada por la CPF, y por el hecho de que la CPF pasa por un período de desarrollo más largo que cualquier otra región cerebral; en los seres humanos, requiere casi dos décadas para lograr su total desarrollo (Diamond, 2002). Así pues, es de esperar que a los niños pequeños les cueste mucho inhibir sus respuestas, incluso en las situaciones más triviales, y que progresen de forma regular en su capacidad de inhibir las respuestas según vayan creciendo. (Debido a que parece claro que la CPF

interviene en la atención ejecutiva y en, al menos, algunos casos de cambio de tarea, sería de esperar que esos procesos ejecutivos siguieran una trayectoria de desarrollo similar).

Una de las tareas más sencillas y más utilizadas con niños es la tarea «A no B», que creó Jean Piaget en 1954. En ella, los niños observan cómo se esconde un objeto que desean en uno de dos lugares que tan solo difieren en su localización espacial. Tras un intervalo de unos cuantos segundos, se incita a los niños a encontrar el objeto escondido y se les premia cuando lo hacen. Si el objeto se esconde en el mismo lugar en los primeros ensayos, los niños no tienen problemas para encontrarlo en la misma localización. Pero cuando el objeto que desean se cambia a otra posición, los niños más pequeños (menores de un año de edad) siguen dirigiéndose a la primera localización aún cuando hayan visto que el objeto se ha colocado en cualquier otro sitio. Es como si los niños no pudieran inhibir la respuesta que antes se recompensó, y seleccionar correctamente la nueva. (véase, por ejemplo, Diamond, 1985).

Otra posible interpretación de estos resultados puede ser que los niños carezcan de una memoria operativa lo suficientemente desarrollada como para retener la localización del objeto deseado. Aunque en parte esto puede ser así, no puede serlo totalmente, ya que en algunos ensayos de este experimento, aún cuando durante la fase de prueba el niño *mira a la localización correcta* del objeto, *persiste en dirigirse a la localización antigua*. El niño atiende principalmente a la dirección correcta, luego no es un problema de atención ni de memoria, pero se dirige al lugar equivocado, lo que parece ser un sorprendente fallo de inhibición de la respuesta.

Los niños mejoran en la tarea «A no B» al final del primer año de vida y cuando llegan a tener entre tres y cinco años muestran cierta aptitud en tareas tales como la de «*go/no-go*». (Cuando tienen entre siete y 12 años, sus patrones de activación neural durante la tarea «*go/no-go*» son casi iguales a los de los adultos, aunque todavía no están al nivel adulto de rendimiento comportamental; Casey *et al.,* 1997). Otra tarea en la que los niños muestran una rápida mejoría durante el período de los tres a los cinco años es la tarea del golpeteo (Luria, 1996). En cada ensayo, el experimentador golpetea con los nudillos una o dos veces y los sujetos han de responder a la inversa, golpeteando una vez si el experimentador lo hizo dos veces y golpeteando dos veces si el experimentador lo hizo tan solo una. En principio, parece ser que la tarea conlleva la inhibición de una respuesta (aunque recuerda enormemente a la tarea de compatibilidad de atención ejecutiva que se expuso antes). Los estudios de neuroimagen en adultos indican que el rendimiento en la tarea de golpeteo se acompaña de activación de la CPF dorsolateral (Brass *et al.,* 2001) y desde hace tiempo se sabe que los adultos con lesiones en la CPF realizan deficientemente dicha tarea (Luria, 1966).

Habría mucho más que decir acerca del desarrollo de la inhibición de la respuesta (un punto de partida útil es Diamond, 2002), pero se ha dicho lo suficiente para resaltar que la inhibición de la respuesta es un proceso ejecutivo especial y que existe una extraordinaria correspondencia entre el desarrollo de la inhibición de la respuesta y la maduración de la CPF. El período de notable aumento de la longitud de las ramas dendríticas de las neuronas de la CPF —aproximadamente entre los siete y los 12 meses— refleja exactamente el período en el que los niños muestran por primera vez una mejoría en la tarea «A no B». Se observa una correspondencia comparable entre la mejoría del rendimiento en tareas como la de «*go/no-go*» o la de golpeteo y el desarrollo neuronal en la CPF. La densidad de neuronas en la CPF dorsolateral es máxima en el momento del nacimiento y va disminuyendo con la edad, como si tuviera

lugar un proceso de poda (en el cual se eliminan las conexiones inútiles). A los dos años, la densidad de neuronas en la CPF es el 55% mayor que en el adulto, pero a los siete años sólo lo supera en un 10% (Huttenlocher, 1990). Y a los siete años, la pauta de resultados de los niños en tareas como la de «*go/no-go*» empieza a parecerse más a la de los adultos. Aunque estas correspondencias no prueben que la CPF media la inhibición de la respuesta, sin duda son compatibles con dicha hipótesis.



### *Control de comprensión*



1. ¿Qué datos indican que la inhibición de la respuesta es un proceso ejecutivo específico?
2. ¿Por qué la inhibición de la respuesta es tan importante la vida diaria?

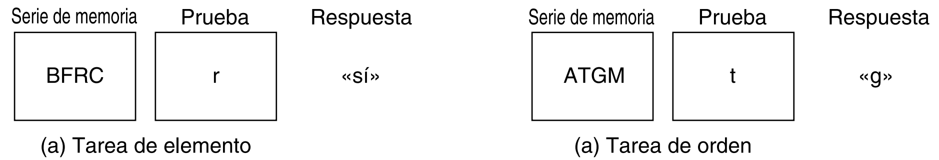
# 6 Establecimiento de secuencias

Planificación: cocinar la pasta antes de preparar el almíbar para el postre; reorganizar la agenda para que cuadre la petición del amigo; hacer ese encargo en primer lugar —todas estas actividades requieren la capacidad de secuenciar operaciones o acontecimientos para conseguir un objetivo—. La coordinación de los procesos necesaria para planificar sugiere que aquí interviene un proceso ejecutivo —establecer secuencias—.

## 6.1. Mecanismos para establecer secuencias

Con **establecer secuencias** queremos decir, en parte, codificar la información relativa al orden de los acontecimientos en la memoria operativa. No podemos preparar un plan para conseguir un objetivo sin codificar el orden de las acciones o de los acontecimientos involucrados. La incapacidad del Dr. P. para ejecutar una secuencia de acciones era una de sus alteraciones más llamativas. Así pues, una pregunta fundamental es: ¿qué mecanismos utilizamos para codificar el orden temporal de una secuencia de acontecimientos?

Para responder a esta pregunta primero tenemos que demostrar que codificar el orden de de un elemento requiere mecanismos diferentes que codificar la identidad de ese elemento (Estes, 1972). Una serie de experimentos comportamentales sugieren que así es. En un par de estudios (Sternberg, 1966, 1967), se examinó el rendimiento de los sujetos en dos tareas relacionadas; una requería almacenar en la memoria operativa tan solo la identidad de un elemento (véase la Figura 7-16a), la otra requería almacenar también información de orden. En la tarea de identidad del elemento se les presentaba a los sujetos una serie de elementos a recordar (la «serie de memoria») a los que seguía un «elemento de prueba». La tarea consistía en decidir si el elemento de prueba figuraba, en cualquier posición, en la serie que se había presentado previamente. Para esta tarea sólo se tenía que almacenar en la memoria operativa información del elemento. En la tarea de orden, se les presentaba a los sujetos una serie de elementos, seguidos por un elemento de prueba perteneciente a la serie. Aquí la tarea era reproducir el elemento de la secuencia presentada que seguía al elemento de prue-



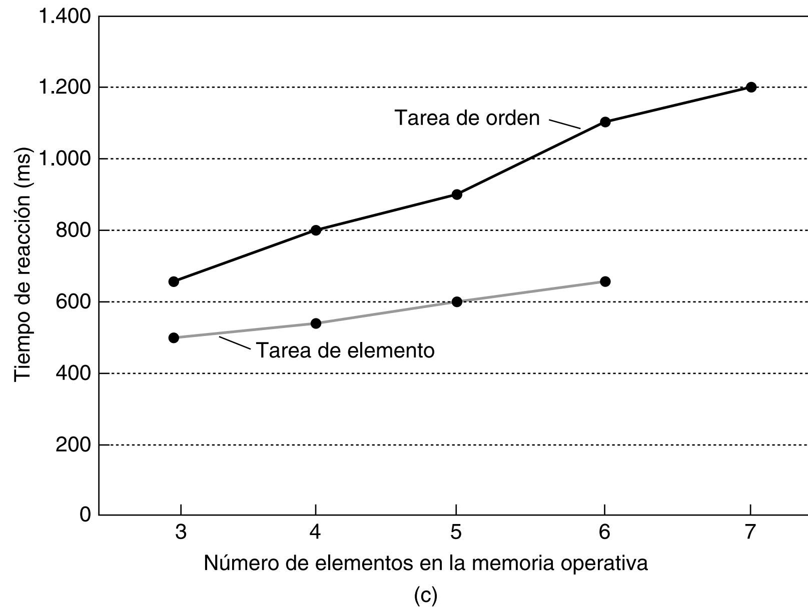




**FIGURA 7-16** Recuperar información de elemento frente a información de orden

(a) Esta tarea implica sólo información sobre la identidad del elemento: los sujetos han decidir tan solo si la prueba estaba en la serie de memoria. (b) Esta tarea requiere almacenar y recuperar información sobre orden así como información sobre identidad del elemento. En esta ocasión los sujetos han de indicar qué elemento *seguía* al elemento de prueba en la serie de memoria. En ambas tareas el elemento de prueba está en una posición diferente de la serie de memoria para evitar que los sujetos utilicen una estrategia de emparejamiento visual. (c) Los datos de la gráfica: estas dos tareas producen diferencias acusadas en el modo en que la información se recupera de la memoria operativa.

ba. (Por ejemplo, dada la serie A T G M y siendo t el elemento de prueba, la respuesta debería ser «g»). Está claro que los sujetos tenían que almacenar información sobre el elemento y sobre el orden para realizar esta tarea.

Tanto en las tareas de orden como de elemento, el número de elementos en la serie de memoria se varía, y en ambos casos el tiempo necesario para responder al elemento de prueba aumenta con dicha variable. Los datos se recogen en la gráfica de la Figura 7-16c. Véanse las pendientes de las líneas que relacionan el tiempo de respuesta con el tamaño de la serie de memoria: esta relación nos indica cuánto se tarda en procesar cada elemento adicional (tal y como se describió en el Capítulo 6). Los gráficos muestran una diferencia sorprendente entre las dos tareas. La pendiente para la tarea de orden es más pronunciada que la de la tarea de identidad del elemento. La conclusión más evidente es que almacenar y recuperar información acerca del orden implica más procesos que los que se requieren para almacenar y recuperar información sobre el elemento. Parte de esta diferencia podría deberse al hecho de que la primera tarea implica reconocimiento, mientras que la segunda requiere recuerdo. Pero

otros datos, como veremos, apoyan la idea de que la información de elemento y la de orden se almacenan y se procesan de forma diferente.

¿Por qué pensar que la codificación de información referente al orden —esto es, establecer una secuencia— es un proceso ejecutivo? Por un lado, sin duda es un metaproceso ya que prácticamente cualquier tipo de elemento o de acontecimiento se puede codificar en función de la información de orden. Y desde hace mucho tiempo se sabe que los pacientes con lesión del lóbulo frontal codifican deficientemente la información sobre orden, en comparación con la información sobre el elemento. En un estudio de Corsi (citado por Milner, 1971) se les enseñó a pacientes con daño frontal y a pacientes con daño parietal una serie de pares de elementos; en ocasiones los dos elementos del par podían aparecer con un signo de interrogación entre ellos. La tarea del paciente era decidir cuál de los dos elementos había aparecido más recientemente. Cuando sólo uno de los dos elementos en realidad se había presentado antes, se trataba de un examen de reconocimiento de elementos; cuando los dos elementos se habían presentado con anterioridad, se trataba de un examen de memoria de orden así como de memoria de elemento. Los resultados mostraron una doble disociación impresionante. Los pacientes con daño frontal tenían dificultades en cuanto a la memoria de información de orden, pero no de elemento; mientras que los pacientes con daño parietal mostraban el modelo opuesto —dificultades en la memoria de elemento, pero no en la del orden de los elementos—. Estudios posteriores han reforzado y profundizado en estos datos (B. Milner *et al.,* 1991).

¿Cómo podría representarse la información sobre orden? Merece la pena considerar tres posibilidades bien conocidas. Para entrar en detalles, estudiemos estos mecanismos en el contexto de un experimento en el que se les muestra a los sujetos una breve serie de elementos a recordar (por ejemplo, J G X R L B) seguidos de un par de letras «de prueba», ambas presentes en la serie de memoria (por ejemplo, G, L). La tarea de los sujetos es decidir si las letras de prueba están en el mismo orden que en la serie de memoria (no tienen porqué ser adyacentes; así que la respuesta en este ejemplo sería, «sí»). Un posible mecanismo de orden es establecer una asociación directa entre cada par de elementos sucesivos —la J precede a la G, la cual precede a la X, y así sucesivamente (véase, por ejemplo, Burgess y Hitch, 1991)—. Con este mecanismo, cuanto más separados se encuentren dos elementos en la lista de memoria, más tiempo se necesitará para determinar si están ordenados correctamente puesto que hay que pasar a través de más asociaciones (G L llevaría más tiempo que G R).

Un segundo mecanismo de orden posible es que añadamos «etiquetas de orden» a cada elemento: la J se etiquetará como el primer elemento, la G como el segundo, la X como el tercero, y así sucesivamente. Con este modo de representar la información sobre orden, la distancia entre dos elementos de prueba en la lista que se presenta no puede influir en el tiempo que se tarda en responder sobre el orden de los elementos de prueba.

Una tercera posibilidad es que codifiquemos la información conforme a lo familiar que nos resulte: quizá cuando se le pide al sujeto que decida si la G precedía a la L, el sujeto simplemente compruebe la familiaridad de los dos elementos. Se supone que la representación que es menos familiar ha decaído más que la otra, es menos fuerte y, por lo tanto, es probable que haya tenido lugar antes (véase, por ejemplo, Cavanaugh, 1976). (En esta forma de codificar, la información de orden se representa continuamente, más que como asociaciones o etiquetas de orden separadas). Y cuando se codifica el orden ateniéndose a la familiaridad, deberíamos esperar que cuanto más

separados se encuentren dos elementos de prueba en la lista a memorizar, menos tiempo se necesitará para decidir si los elementos están correctamente ordenados, ya que la diferencia en la fuerza de la representación será mayor (E. E. Smith *et al.,* 2002).

Los tres mecanismos cuentan con datos comportamentales que los avalen. El modelo de Burgess y Hitch (1999) se centra en el recuerdo en serie de palabras no relacionadas. Por ejemplo, el sujeto podría ver las palabras *mesa*, *limón, cohete, hoja, pluma y almuerzo*, a lo que seguiría un breve intervalo temporal, y luego recibir una señal para recordar las palabras en su orden. Los sujetos dicen que repasan mentalmente los elementos durante el tiempo de demora. Este modelo asume que los elementos sucesivos se asocian directamente y da razón de los datos comportamentales sobre el recuerdo en serie. Veamos un ejemplo cotidiano de una asociación directa: cuando se les pregunta cuáles son los cuatro últimos dígitos de su número de la Seguridad Social, lo que a menudo solicitan diferentes programas de seguridad, muchas personas repasan mentalmente el número entero hasta llegar al último de los cuatro dígitos. Es de suponer que estas personas han memorizado el número como una secuencia de asociaciones directas (hagamos la prueba —¿lo hemos hecho así?—).

Otros estudios proporcionan pruebas a favor de las etiquetas de orden. En un experimento, a los sujetos se les presentó primeramente una corta secuencia de palabras y después de una breve demora tuvieron que realizar una de dos tareas de memoria operativa: recordar las palabras en el orden dado o recordar las palabras en orden alfabético. Debido a que la segunda tarea requiere reordenar el orden de la información recibida ajustándola a un orden alfabético, probablemente sólo se podrá llevar a cabo mediante un mecanismo que asigne etiquetas de orden alfabético a los elementos que se mantienen en la memoria operativa y que después utilice esas etiquetas para guiar el recuerdo. La exactitud de respuesta fue alta en la tarea de orden alfabético, lo cual ofrece cierta evidencia indirecta de que existe un mecanismo de etiquetado directo. Resulta interesante que cuando se obtuvieron neuroimágenes de los sujetos mientras ejecutaban estas tareas, sólo la tarea de recuerdo en orden alfabético activó la CPF dorsolateral; la tarea sencilla de recordar el orden inicial no produjo tal activación aunque requería representarse el orden de la información presentada (Collette *et al.,* 1999).

Y existen otros estudios que aportan datos indicativos de que se utiliza la familiaridad para representar el orden de la información. En un estudio representativo, se les mostró a los sujetos cinco letras en un orden determinado, y después hubo un breve tiempo de espera. El elemento de prueba que seguía siempre estaba formado por dos letras (véase la Figura 7-17a). Había dos tareas: una tarea de elemento, en la cual las dos letras de prueba eran idénticas y el sujeto sólo tenía que juzgar si esas letras habían aparecido en la serie de memoria; y una tarea de orden, en la que las letras de prueba eran distintas pero ambas se habían tomado de la serie de memoria y los sujetos tenían que juzgar si las letras estaban en el mismo orden que en la serie de memoria (no era necesario que fueran adyacentes para dar una respuesta afirmativa). En la tarea de orden, cuando el tiempo para tomar una decisión positiva o negativa se representa gráficamente en función de la distancia entre las dos letras de prueba en la serie de memoria, el tiempo de respuesta disminuye con la distancia —un «efecto de distancia»—, como cabría esperar si la familiaridad o la fuerza relativa de la representación se hubieran utilizado para hacer el juicio (Figura 7-17b) (Marshuetz *et al.,* 2000).

Cuando los sujetos realizaron estas mismas tareas mientras se exploraba su cerebro mediante RMf, comparándose el grado de activación durante la tarea de elemento y la de orden, se observó que dos regiones estaban más activadas en la tarea de

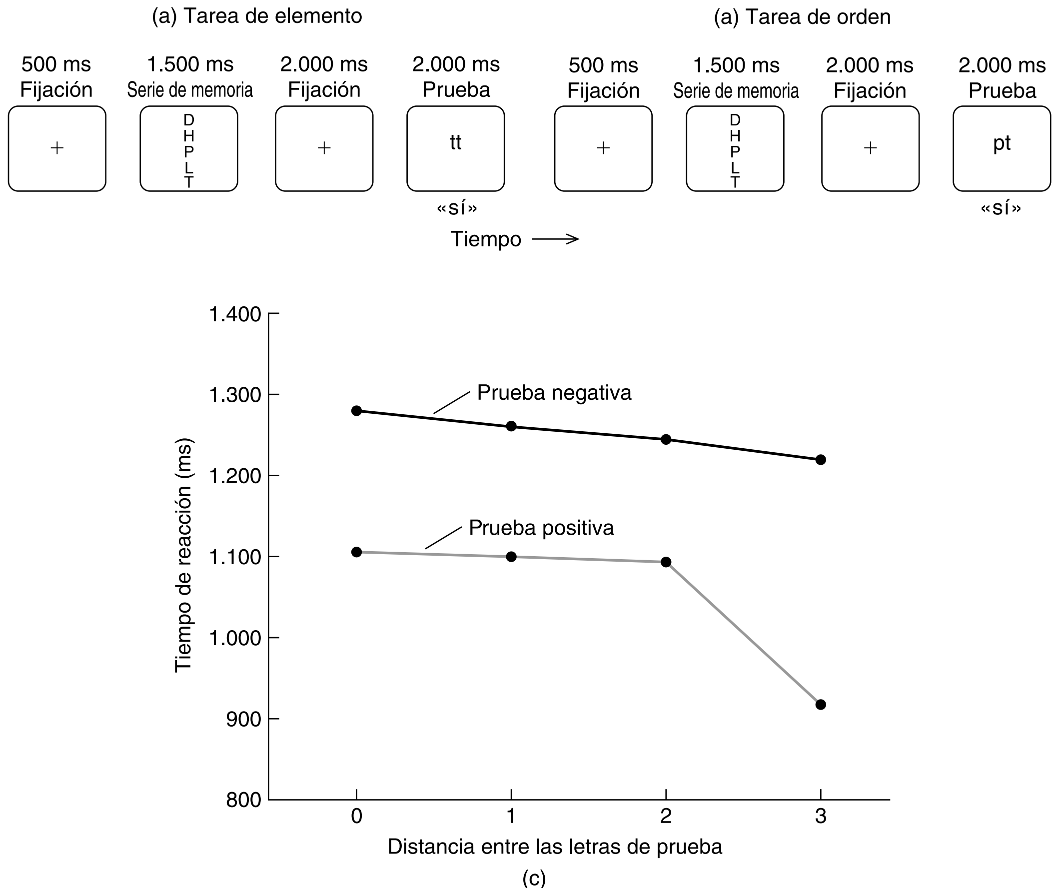



**FIGURA 7-17** Efectos de la distancia en juicios sobre orden

(a) La tarea de elemento y (b) la tarea de orden. En ambas tareas, se les presentó a los sujetos un punto de fijación (un signo más) entre los ensayos. En una prueba positiva, el elemento de prueba o el orden coincidía con la serie de memoria; en una prueba negativa no coincidía. También en este caso, en ambas tareas la prueba está en una posición diferente de la serie de memoria para evitar que los sujetos utilicen una estrategia de emparejamiento visual. (c) Efectos de distancia obtenidos en la tarea de orden: cuanto mayor es la distancia entre las dos letras de prueba, más rápida es la respuesta.

(Marshuetz, C., Smith E. E., Jonides, J., DeGutis, J., y Chenevert; T. L., (2000) Order information in working memory; fMRI evidence for parietal and prefrontal mechanisms. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 130-144. © 2000 por The Massachusetts Institute of Technology. Reimpreso con autorización).

orden que en la de elemento. Una era la CPF dorsolateral, lo que por supuesto encaja con la hipótesis del ejecutivo frontal. Pero las otras áreas se localizaban en la corteza parietal, lo que de nuevo indica que ciertas regiones parietales intervienen en algunos procesos ejecutivos. Y lo que es más interesante, algunas de las regiones parietales se localizaban dentro de la corteza parietal, un área que se sabe está implicada en los juicios sobre cantidades continuas, tales como comparaciones sobre la cantidad de elementos (Chochon *et al.,* 1999). Esto coincide con los datos comportamentales que reflejan efectos de distancia. Dicho concisamente, los datos de neuroimagen aportan pruebas de que las personas pueden valerse de dos posibles representaciones de orden diferentes: una representación basada en la familiaridad, que se localiza dentro de la corteza parietal; y una representación de codificación temporal directa, que está mediada por la CPF dorsolateral (Marshuetz *et al.,* 2000).

## 6.2. Establecer secuencias de elementos conectados

Una vez expuestas algunas ideas sobre cómo codificamos el orden de elementos arbitrarios, el siguiente paso es analizar la secuencia de los elementos conectados, como ocurre en muchas situaciones de la vida real. Esto revela que aquí hay una distinción fundamental entre secuencias de elementos novedosos y elementos familiares.

Una situación familiar de la vida real es «ir a un restaurante». La mayoría de los adultos, como los comensales de la Figura 7-18, han memorizado la secuencia de pasos necesarios en esta tentativa que, en nuestro país, es más o menos como sigue: entrar en el restaurante, sentarse, aceptar un menú, mirar el menú y hacer una elección, hacer el pedido, recibir la comida, pedir la cuenta, pagar la cuenta (más la propina) y salir del restaurante. Tan familiar resulta esta secuencia que Schank y Abelson (1977) la doblaron en un *guión* y la descompusieron en una serie de guiones (entre ellos, «ir al cine», «lavar la ropa» y «arrancar un coche»). Por otra parte, hay pruebas de que nuestra representación de un guión está formada por asociaciones directas entre elementos. Cuando escuchamos una historia sobre ir a un restaurante y se excluyen algunos pasos importantes («Juan estaba sentado y se comía un filete»), el efecto es desconcertante. Cuantos más pasos se han excluido, más tiempo se necesita para entender la historia, ya que se han de completar mentalmente los pasos que faltan antes de pasar al próximo (Abbott *et al.*, 1985).

Las cosas son diferentes cuando se trata de generar una secuencia novedosa; supongamos la secuencia de actividades necesarias para abrir un salón de belleza.



**FIGURA 7-18** El guión del restaurante en acción

Estos comensales, en varias etapas de la experiencia de cenar en un restaurante, saben qué es lo próximo que va a ocurrir, saben qué hacer. A los pacientes con una lesión en el lóbulo frontal, esto les resulta difícil.

(Fotografía de Spencer Grant. Cortesía de PhotoEdit Inc.)

En este caso hemos de realizar un ejercicio de resolución de problemas más que apoyarnos sólo en asociaciones (Schank y Abelson, 1977). El objetivo final de abrir un salón de belleza se ha de descomponer en objetivos parciales y se han de generar un plan global y planes parciales. Los sujetos normales tienen pocos problemas para generar estas secuencias novedosas, pero la historia es muy distinta para los pacientes con daño en el lóbulo frontal, particularmente en la CPF dorsolateral, como puede apreciarse en el siguiente experimento.

Tres grupos diferentes de sujetos realizaron tareas de establecer secuencias de acontecimientos. Los tres grupos incluían: pacientes con lesiones en la CPF, particularmente en la CPF dorsolateral; pacientes con una lesión en las regiones corticales posteriores y personas normales que sirvieron de grupo de referencia. Los tipos de secuencias en los que se examinó su rendimiento incluían guiones establecidos, tales como arrancar un automóvil, y secuencias novedosas, como abrir un salón de belleza. En un estudio, se les pidió a los sujetos que primero generasen, o reprodujeran, acciones asociadas con los temas (por ejemplo, simular cómo se arranca un automóvil); y que después ordenaran las acciones que habían generado formando la secuencia apropiada. No se hallaron diferencias entre los tres grupos de sujetos respecto a la cantidad o el tipo de acciones que generaron para temas familiares o no familiares.

Por el contrario, se dieron notables diferencias cuando los sujetos tuvieron que ordenar los elementos que habían generado, formando una secuencia. Ninguno de los sujetos normales ni de los pacientes con lesiones posteriores cometió errores en las secuencias del guión cómo arrancar un automóvil, mientras que los pacientes con daño frontal cometieron algunos errores al establecer la secuencia. Esta pauta se acentuó cuando la secuencia no era familiar (abrir un salón de belleza). En este caso, los pacientes con daño frontal cometieron un número de errores sustancialmente mayor al formar la secuencia que los sujetos normales o los pacientes con daño posterior (estos dos últimos grupos no difirieron entre sí). Estos hallazgos indican que la CPF participa tanto en el establecimiento de secuencias como en su reproducción. Se obtuvo exactamente el mismo modelo de resultados en un segundo estudio, en el que se les dio a los sujetos tarjetas que tenían grabadas acciones sobre diferentes temas y se les pidió que ordenasen las acciones de cada tema. Los pacientes con una lesión frontal cometieron muchos errores, mientras que los pacientes con una lesión posterior y los sujetos normales tuvieron resultados casi perfectos (Siguru *et al.,* 1995).

Dichos resultados no se pueden explicar suponiendo que establecer una secuencia de elementos no familiares es más difícil que hacerlo con elementos familiares, y que los pacientes con daño cerebral tendrán dificultades para realizar una tarea en la medida en la que la tarea es difícil. Los pacientes con una lesión posterior, al igual que los pacientes con lesión en la CPF, tenían un daño cerebral extenso y aun así tuvieron un rendimiento relativamente normal al establecer secuencias de elementos no familiares. Así pues, dónde se localice el daño tiene importancia, y cuando éste se encuentra en la CPF se deterioran los procesos de establecer secuencias. Este estudio ofrece una buena prueba de que la CPF (en particular, la CPF dorsolateral) interviene en establecer la secuencias de las acciones. Asimismo tiene la ventaja de estar más próximo a las preocupaciones de la vida real, dado que el tipo de secuencias que se estudió capta muchas de las dificultades que los pacientes frontales experimentan cuando intentan llevar a cabo un trabajo o seguir una vida normal.



**Control de comprensión**



1. ¿Cuáles son los diferentes modos en que se puede representar la información sobre orden?
2. ¿Cuál es la prueba de que la CPF participa en el procesamiento de secuencias ordenadas?

# 7 Supervisión

En el contexto de los procesos ejecutivos, la **supervisión** es la evaluación de cómo uno mismo realiza una tarea *mientras la está realizando*. Se ha de distinguir de la capacidad de evaluar (y mejorar) el propio rendimiento *después* de haber acabado la tarea, ya sea a partir de la retroalimentación que se reciba o de la propia opinión sobre cómo fueron las cosas.

La supervisión *on line*[2] ocurre en un vasto número de actividades humanas —siempre que evaluamos cómo estamos haciendo algo mientras resolvemos cualquier tipo de problema, sea intelectual o social. (véase, p. ej., Metcalf y Shiamura, 1994), o como cuando comprobamos si hemos comprendido la frase que estamos leyendo mientras lo hacemos—. La supervisión puede ser incluso más «meta» que otros procesos ejecutivos que hemos estudiado: podemos imaginarnos situaciones en las que evaluamos si estamos atendiendo bien o cambiando la atención bien.

## 7.1. Supervisión de la memoria operativa

Ya hemos visto que existe una estrecha conexión entre la memoria operativa y una serie de procesos ejecutivos. Algunos de los trabajos más influyentes en este campo entrañan la tarea de ordenar por sí mismo los elementos (Petrides *et al.*, 1993a), ilustrada en la Figura 7-19. En este ejemplo de la tarea, los ensayos se presentan en bloques de seis. En el primer ensayo, se presenta un conjunto de seis objetos y el sujeto señala uno de ellos. En el segundo ensayo, se presentan los mismos seis objetos pero dispuestos de otra manera y el sujeto ha de señalar un objeto distinto del que señaló en primer lugar. En el tercer ensayo, se vuelven a presentar los mismos seis objetos colocados en una nueva disposición y el sujeto ha de señalar un objeto que no haya seleccionado con anterioridad. Según Petrides *et al.* (1993a), los sujetos llevan a cabo la tarea así: almacenan su primera elección en la memoria operativa; después, antes de realizar la segunda elección, inspeccionan (esto es, supervisan) el contenido de la memoria operativa para no cometer un error; almacenan su segunda elección en la memoria operativa, y así sucesivamente. La tarea implica una constante actualización y supervisión de la memoria operativa y por lo general se asume que lo que resulta decisivo para lograr el éxito es la parte de supervisión. Los sujetos normales tienen pocos problemas para hacer esta tarea, siempre y cuando la carga de memoria no supere los seis elementos (esto es, se mantenga dentro de los límites de capacidad de la

[2] Al tiempo que se realiza una acción. (*N. del T.*)

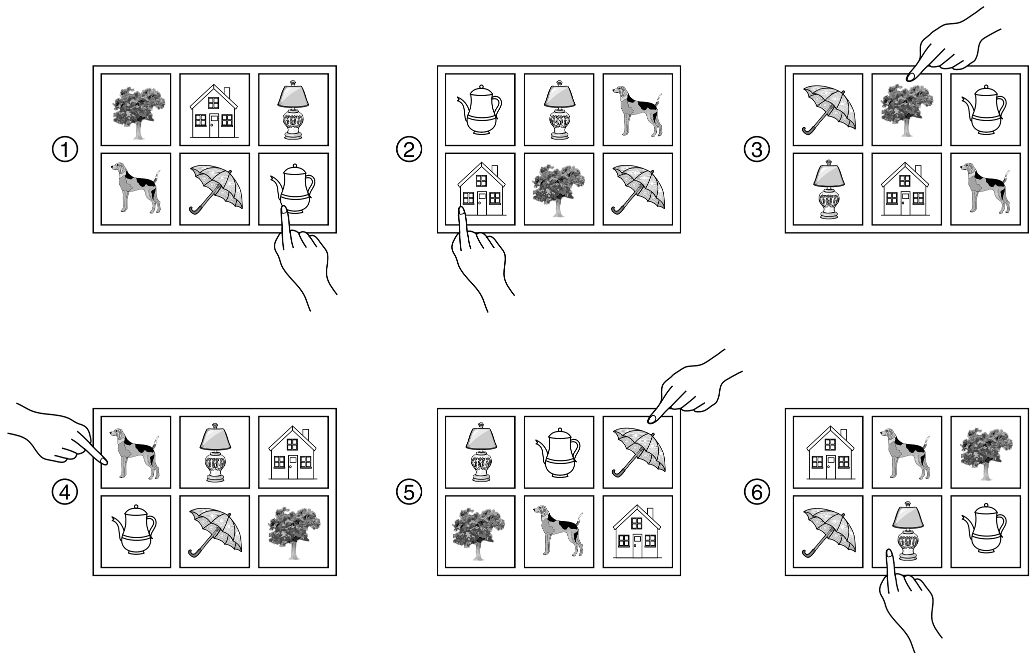



**FIGURA 7-19** Ejecución correcta de una tarea de señalar seis elementos en un orden distinto

El sujeto ha de señalar un elemento diferente en cada página; la posición de cada dibujo varía de una página a otra.

memoria operativa). Para los pacientes con daño frontal, las cosas son distintas. Estos pacientes tienen poca capacidad de realizar dicha tarea, incluso menos que pacientes con lesión temporal; en contraposición, los pacientes con daño frontal no tienen problemas para realizar una tarea de memoria operativa que sólo requiere informar de los seis elementos que se presentan. Supuestamente, el requisito de supervisar el contenido de la memoria operativa está mediado por la CPF, la CPF izquierda en particular (Petrides y Milner, 1982). Este resultado puede generalizarse. Es válido para elementos verbales al igual que para elementos visuales, y las mismas alteraciones, básicamente, se pueden producir en monos en los que se ha lesionado la región dorsolateral de la CPF (Petrides, 1986). Por otra parte, al registrar imágenes cerebrales (mediante TEP) de sujetos humanos mientras ejecutan la tarea, se ha comprobado que una de las principales regiones activadas es —como se habrá supuesto— la CPF dorsolateral.

Una tarea comparable es la de reproducción aleatoria. La tarea parece bastante sencilla. Creamos una tanda de, digamos, ocho números aleatorios. Ahora bien, la mayoría de las personas creen que en una tanda de números aleatorios habría pocas o ninguna repetición inmediatas y ningún patrón discernible (dicho sea de paso, ambas ideas son incorrectas). El único modo de cumplir esos dos requisitos mientras se generan números «aleatorios» es almacenar en la memoria operativa cada dígito que se genera y luego supervisar la memoria operativa antes de generar el siguiente dígito, de manera que no se llegue a repetir un número o a establecer un patrón. En un experimento con TEP que comparó el caso de números generados al azar con el de números generados en orden (por ejemplo, los números del 1 al 8 en orden), sólo en la primera tarea se activó la CPF dorsolateral (Petrides *et al.*, 1993b). Ante esto, dichos estudios sugieren que la supervisión es un proceso ejecutivo mediado, al menos en parte, por la CPF dorsolateral.

## 7.2. Supervisión de errores

Otra fuente de datos indicativos de que la supervisión es un proceso ejecutivo procede de estudios que se centran en los errores. Para empezar, una considerable cantidad de datos comportamentales señalan que los sujetos saben cuándo han cometido un error en una tarea de tiempo de elección de respuesta, tal como «pulse el botón izquierdo cuando aparezca un círculo, el botón derecho cuando aparezca un cuadrado y el botón del centro si se equivoca». A juzgar por estos datos comportamentales, la detección de errores puede ser muy lenta: algunos estudios indican que se precisan alrededor de 700 milisegundos (Rabitt, 1998). Este tiempo de respuesta es tan lento que resulta difícil tomarlos como medidas del procesamiento *on line*.

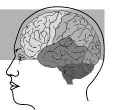
Sin embargo, las investigaciones que han utilizado potenciales provocados aportan pruebas más convincentes de que los sujetos detectan los errores poco después de cometerlos. Gehring *et al*., (1993) hallaron una curva en la onda de respuesta de los PPs que se daba tras una respuesta incorrecta. Este componente, llamado *negatividad relacionada con el error* (NRE) es una deflexión negativa de la onda del PP que comienza aproximadamente en el momento del error, a veces un poco antes, y que alcanza su pico alrededor de 100 milisegundos después de que haya tenido lugar el error. Dado cuán deprisa ocurre el NRE, probablemente refleje algún tipo de proceso interno de supervisión. Una interpretación de los resultados es que el NRE refleja un proceso que señaliza los errores siempre que detecta una falta de coincidencia entre la respuesta que se ha dado y la respuesta correcta, donde la última se determina por la información que se va acumulando después de que se haya escogido la respuesta inicial (véase, por ejemplo, Gehring *et al*.., 1993; véase, también, Botvinick *et al.,* 2001). Por otra parte, aunque los PPs no proporcionan una información precisa sobre la localización cerebral, parece ser que el NRE está generado por una estructura de la línea media de la corteza frontal; posiblemente, el cíngulo anterior.

Cuando examinamos antes el modelo de red neural de la atención ejecutiva, consideramos la propuesta de que lo que se está supervisando no son los errores en sí mismos, sino más bien el conflicto en el nivel de respuesta. Los datos a favor de esta postura proceden de un estudio de neuroimagen. En él se demostró que los ensayos que generan un conflicto importante, aunque se respondan correctamente, conducen a un aumento de activación en lo que parece ser la misma región del cíngulo anterior que se vio activada en los estudios de PPs (Carter *et al.,* 1998). La explicación de cómo se lleva a cabo exactamente la supervisión *on line* sigue siendo un tema candente de investigación, pero los hallazgos, de experimentos con PPs y con RMf, dejan pocas dudas de que ese proceso ejecutivo exista.

Un tema que ha surgido repetidamente en este capítulo se refiere a la cuestión de cuántos procesos ejecutivos existen. Para terminar, nos ocupamos de esta cuestión en el recuadro *Debate*.



### *Control de comprensión*



1. ¿Qué estructura neural se activa habitualmente en las tareas que requieren supervisión de la memoria operativa?
2. «Enseguida somos «conscientes» de haber cometido un error» ¿En qué se basa esta afirmación?

DEBATE

## ¿Cuántos procesos ejecutivos requiere?

A lo largo de esta exposición hemos asumido que existe un cierto número de procesos ejecutivos y que ese número es relativamente pequeño —menos de 10—. Aunque muchos investigadores apoyan esta suposición (véase Stuss y Knight, 2002), existen otros puntos de vista. Algunos investigadores mantienen que sólo existe un único proceso ejecutivo, mientras que otros mantienen que existen varios centenares.

Cuando Alan Baddeley publicó en 1986 su modelo de memoria operativa e introdujo la idea de un ejecutivo central, tenía en mente un sistema de inhibición de la atención, similar a lo que hemos examinado bajo el título de «atención ejecutiva». La idea básica (conforme a Norman y Shallice, 1986) era que cuando los estímulos son inequívocos o la respuesta que se requiere es sencilla, no se necesita atención; pero cuando hay cualquier tipo de conflicto, ha de ponerse en juego la atención ejecutiva —el ejecutivo central—. Más recientemente, el modelo de red neural desarrollado inicialmente por Cohen y colaboradores (1990) planteó un único módulo de atención como un proceso ejecutivo (la idea de un supervisor de conflicto se añadió al modelo más tarde). Puesto que el modelo de Cohen y colaboradores incorpora de por sí la inhibición, puede explicar muchos de los datos que se han presentado en nuestra discusión de la atención ejecutiva y del cambio de atención. Este tipo de modelo es manifiestamente parco en este aspecto, pero también tiene varios problemas de peso. En primer lugar, no puede explicar fácilmente por qué al comparar pruebas de neuroimagen correspondientes a una tarea de atención ejecutiva y una tarea de cambio de atención se han observado ciertas diferencias notables en cuanto a las zonas de activación. En segundo lugar, no está claro cómo este modelo podría explicar la secuencia de datos que hemos presentado.

Se ha planteado otro argumento a favor del punto de vista de un único proceso ejecutivo (Duncan *et al.,* 2000). Estos investigadores obtuvieron pruebas de neuroimagen de sujetos en unas cuantas tareas diferentes que se suponía involucraban a diferentes procesos ejecutivos, y encontraron que todas las tareas activaban la misma región general de la CPF, la CPF dorsolateral. Concluyeron que sólo está en juego un único proceso, algo parecido a la inteligencia general (o lo que se ha llamado *inteligencia fluida*, esto es, la capacidad de razonar sobre situaciones nuevas). Nuestra discusión ha implicado también a la CPF dorsolateral en cada proceso ejecutivo examinado. Pero hemos explorado un conjunto mucho mayor de estudios que los que valoraron Duncan y sus colaboradores y hemos encontrado pruebas de la implicación de ciertas áreas neurales distintas en diferentes procesos ejecutivos, por ejemplo, de las regiones parietales en el cambio de atención, de las áreas orbitofrontales en la inhibición de la respuesta y de regiones dentro del lóbulo parietal en los juicios sobre orden.

Aquellos que argumentan a favor de la existencia de multitud de procesos ejecutivos suelen hacerlo desde la perspectiva de un modelo computacional, a pesar del tipo de procesamiento de la información «cajas y flechas» (véase, por ejemplo, Meyer y Kieras, 1997a, 1997b). Pensemos en un pariente cercano de la tarea de cambio, a saber, realizar dos tareas al mismo tiempo. Por ejemplo, a un sujeto se le puede pedir que discrimine una luz (roja o azul) y un sonido (de alta o de baja frecuencia) simultáneamente y dar una respuesta sobre la luz primero. Para efectuar este procesamiento en detalle (esto es, de una forma computacional), se han de postular «mini» metaprocesos tales como «bloquear» la respuesta al sonido en caso de que llegue en primer lugar, y posteriormente desbloquear esta respuesta cuando se haya dado la respuesta a la luz. Dada la plétora de mini procesos ejecutivos que tienen que postularse, este tipo de enfoque puede tener los problemas opuestos a los que se enfrentaron los modelos unitarios. Los procesos ejecutivos a menudo se incorporan a estos modelos de procesos ejecutivos múltiples para hacer que el modelo sea capaz de explicar los datos; puede resultar muy difícil obtener pruebas de su existencia por separado. Así pues, explican muchas cosas, pero posiblemente a expensas de postular demasiadas.

## Repaso y reflexión

1. *Los procesos ejecutivos ¿están mediados por los lóbulos frontales?*

   Los estudios iniciales indicaron que muchos procesos ejecutivos resultan afectados por una lesión en los lóbulos frontales, particularmente en la CPF. Los investigadores elaboraron una serie de pruebas que supuestamente se servían de los procesos ejecutivos —entre ellas, la de Stroop, la de Clasificación de Cartas de Wisconsin, y la de la Torre de Hanoi—, demostrando que los pacientes con lesión en la CPF tenían alteraciones selectivas de las capacidades que median estas tareas. Dichos hallazgos fortalecieron la hipótesis del ejecutivo frontal, la idea de que cada proceso ejecutivo primario está mediado primordialmente por la CPF. Nuestra revisión ha demostrado que esta hipótesis es excesiva: aunque la CPF interviene en los procesos ejecutivos, parece ser que algunas regiones de la corteza parietal son igualmente importantes para una serie de procesos ejecutivos, tales como el cambio de atención y la planificación.

   **Piense críticamente**

   - ¿Qué características anatómicas de la corteza frontal hacen que sea particularmente apropiada para mediar los procesos ejecutivos?, ¿excluye esto que los procesos ejecutivos tengan otros sustratos anatómicos?
   - ¿Qué tipos de trabajo podría realizar con normalidad una persona con daño frontal?, ¿qué tipos de trabajo no podría realizar normalmente esta persona?

2 *¿Qué es la atención ejecutiva y cómo se pueden plantear modelos sobre ella?*

   La atención ejecutiva es, probablemente, el único metaproceso que cualquiera estaría de acuerdo en decir que es necesario para controlar la cognición. Una enorme cantidad de experimentos comportamentales señalan su papel en dar preferencia a una fuente de información sobre otra. Se ha progresado tanto en plantear modelos de la atención ejecutiva —como una red neural que incluye un regulador de la atención y un detector de conflicto— como en determinar sus bases neurales, la CPF dorsolateral y el cíngulo anterior. No obstante, el papel exacto que desempeña el cíngulo anterior sigue siendo algo controvertido.

   **Piense críticamente**

   - ¿Cómo podrían utilizar los diseñadores de *software* la compatibilidad estímulo-respuesta para idear, por ejemplo, un nuevo sistema de correo electrónico?
   - ¿Cómo explica el modelo de red neural de la atención ejecutiva el deficiente rendimiento que tienen los pacientes con lesión del lóbulo frontal en la tarea de Stroop?

3. *¿Qué interviene en el cambio de atención?*

   El cambio de atención pone más procesos en juego. Los experimentos comportamentales demuestran que casi siempre el cambio tiene un coste, independientemente de la tarea. Se supone que este coste se debe a que se reclutan procesos cognitivos adicionales: la mayoría de los resultados de las pruebas de neuroimagen durante el cambio de atención indican que en este cambio intervienen otras áreas neurales. Algunas de estas áreas adicionales son las mismas que las que participan en la atención ejecutiva —la CPF dorsolateral y el cíngulo anterior—. (En los estudios de interés sobre el cambio de atención, estas dos áreas no estaban im-

plicadas cuando se ejecutaba una tarea durante un bloque entero de ensayos). Otras áreas adicionales que intervienen en el cambio se localizan en la corteza parietal.

**Piense críticamente**

- Según se expuso en el Capítulo 3, algunos investigadores han propuesto que atender a algo es como iluminarlo con un foco de luz; si es así, entonces el cambio de atención sería similar a mover este foco. Piense el lector una predicción comportamental relacionada con el cambio de tarea que le sugiera esta analogía.
- Imagine un experimento en el cual los sujetos tuvieran que realizar, en ensayos alternativos, una tarea de Stroop («nombrar el color en que está impresa una palabra») y una tarea de lectura («leer la palabra»). ¿Cómo describiría el modelo del procesamiento de la información el procesamiento subyacente?

4. *¿Qué es la inhibición de la respuesta y qué la caracteriza?*

La inhibición de la respuesta, la supresión de una respuesta preparada en parte, se puede aislar experimentalmente utilizando tareas tales como la de «*go/no-go*» y la de la señal de *stop*. Estas tareas demuestran que los sujetos son sensibles a la probabilidad de una respuesta «*go*» o al tiempo de demora en la respuesta. A nivel neural, estas tareas activan la CPF dorsolateral y el cíngulo anterior. No obstante, estas tareas a menudo llevan a la activación de un área adicional: la corteza orbitofrontal. Por otra parte, existe un notable paralelismo entre la capacidad de los sujetos para inhibir una respuesta y el grado de desarrollo de la CPF.

**Piense críticamente**

- ¿Puede pensar el lector en alguna situación de la vida real en la que sea adaptativo ser impulsivo, esto es, en la que sea adaptativo *no* ejercer la inhibición de la respuesta?
- Supongamos que la CPF estuviera totalmente desarrollada a los dos años de edad. ¿Cuáles serían algunas de las implicaciones para la educación de los niños?

5. *¿Qué mecanismos se utilizan para establecer secuencias de información?*

Se pueden utilizar tres mecanismos diferentes para establecer secuencias de elementos no relacionados. Éstos incluyen: asociaciones entre elementos adyacentes, codificación directa del orden temporal, y utilizar la familiaridad relativa para codificar el orden. Los estudios de neuroimagen apoyan la idea de que existen diferentes mecanismos: la CPF dorsolateral podría mediar la codificación directa del orden, mientras que la corteza parietal mediaría el uso de información continua —tal como la fuerza relativa o la familiaridad— para codificar el orden. En el establecimiento de secuencias de elementos relacionados, es importante distinguir entre construir secuencias familiares y construir secuencias novedosas; el funcionamiento de la CPF se ajusta a esta distinción, como lo indica el hecho de que los pacientes con daño frontal tienen mucho más afectada la capacidad de generar una secuencia novedosa que una familiar.

**Piense críticamente**

- ¿Cuándo podría ser más útil codificar el orden basándose en la familiaridad relativa de los elementos?
- ¿Cuál es la diferencia entre establecer secuencias y codificar el orden?

6. *¿Qué interviene en la supervisión de nuestra actuación* on line*?*

   Los trabajos sobre la supervisión en tanto que un proceso ejecutivo han seguido dos líneas de investigación. Una de ellas se centra en la supervisión del contenido de la memoria operativa; aquí la CPF está claramente implicada. La otra se centra en la supervisión de los errores, un proceso que ha sido bien estudiado en experimentos comportamentales. Además, los estudios de PPs y de RMf sugieren que dicha supervisión es extremadamente rápida, ocurriendo en el plazo de los 100 milisegundos que siguen a la respuesta, y que el proceso está mediado por el cíngulo anterior.

   **Piense críticamente**

   - ¿Hay alguna diferencia entre *supervisar* el contenido de la memoria operativa y *atender* al contenido de la memoria operativa?
   - ¿Cuáles son algunas de las ventajas de ser capaz de supervisar los errores *on line*?

# Emoción y cognición




## Objetivos de aprendizaje

El 11 de septiembre del año 2001, dos aviones se estrellaron contra dos edificios del *World Trade Center* en Nueva York. Ese día veíamos la televisión según pasaban una y otra vez las imágenes y recordamos claramente haber visto el impacto contra los dos edificios. *Pero no es eso lo que vimos: no se contó con un vídeo del primer avión hasta el día siguiente. La emoción interactúa con la memoria.*

Vamos conduciendo por una autopista. De repente, todo son luces de frenado delante de nosotros hasta donde podemos ver y el tráfico se desliza lentamente. Un camión grúa nos pasa al lado del hombro y nos damos cuenta de que ha habido un accidente. Desdeñamos a los mirones que están causando el retraso debido a su macabra curiosidad. Después de media hora, llegamos al lugar del accidente. *Aunque la carretera está despejada al frente, también nosotros nos detenemos un instante para echar un vistazo antes de seguir. La emoción interactúa con la atención*.

En el Casino, sabemos que las probabilidades están a favor de la casa, pero la emoción y la excitación ante la posibilidad de una gran ganancia dominan nuestro sentido común. *Lo apostamos todo. La emoción interactúa con la toma de decisiones*.

Estas escenas tan frecuentes ponen de relieve la importancia de considerar la emoción para entender una serie de procesos cognitivos. En este capítulo revisamos lo que se sabe acerca de la interacción entre emoción y cognición. Nos ocupamos en concreto de cinco cuestiones:

1. ¿Cómo han definido los investigadores la emoción para hacer posible que se investigue científicamente el modo en que interactúan la emoción y la cognición?
2. ¿Qué técnicas se utilizan habitualmente para manipular y valorar la emoción en condiciones de laboratorio?
3. ¿De qué manera pueden adquirir los estímulos carácter emocional y cómo se expresa este aprendizaje emocional?
4. ¿Cómo modifica la emoción nuestra capacidad de recordar?
5. ¿Cómo cambian la atención y la percepción debido a la emoción?

# 1 La conexión

A pesar de la íntima relación que existe entre las emociones y los procesos cognitivos, lo cual con frecuencia experimentamos conscientemente —«estaba tan *furioso*», decimos, «que no podía pensar con claridad»— la emoción no se consideró un campo apropiado de investigación dentro del estudio de la cognición hasta hace poco. ¿Por qué se ha tardado tanto tiempo en incluir el análisis de la emoción en el estudio de la cognición?

La idea, ya no admisible, de que la emoción y la cognición son actividades mentales distintas que es posible separar puede rastrearse hasta los primeros filósofos. Platón, por ejemplo, creía que los seres humanos tienen tres «almas», correspondientes a tres aspectos de la naturaleza humana: el intelecto, la voluntad y las emociones. La influencia de este pensamiento filosófico inicial sentó las bases de debates sobre la cognición y su relación con la emoción que perduraron durante siglos.

En nuestros días, el estudio de la cognición ha sido influenciado en gran manera por el desarrollo del ordenador —tanto que hablamos de la «revolución cognitiva» para describir una nueva forma de pensar en los procesos cognitivos, basada en el modelo del ordenador (como se vio en el Capítulo 1)—. El ordenador proporciona una herramienta útil, pero es obvio que estudiar el procesamiento de la información en seres humanos tan sólo mediante analogía con un elemento tecnológico deja poco papel a la emoción. Así pues, tanto históricamente como en trabajos contemporáneos, los modelos predominantes han dejado poco espacio para la investigación de las conexiones entre la emoción y la cognición. No obstante, el vínculo entre la emoción y la cognición es innegable y algunos psicólogos han tratado de indagar su naturaleza. Uno de los debates más recientes (en los ochenta), que abrió la puerta a investigaciones posteriores sobre la interacción de la emoción y la cognición, implicaba la cuestión de si se puede experimentar una emoción sin una *valoración cognitiva* (esto es, una interpretación de la razón de nuestros sentimientos). Por un lado, estaba la investigación que demostraba que los estímulos emocionales presentados subliminalmente, sin que los sujetos fueran conscientes de ello, aun así influían en cómo los sujetos evaluaban estímulos neutros subsecuentes (Zajonc, 1980, 1984). Basándose en esto, el investigador, Robert Zajonc argumentó que los juicios afectivos («afecto» es un término general que incluye emociones y preferencias), tales como lo mucho que nos gusta un cuadro determinado, ocurren antes, e independientemente, de la cognición. La otra postura, encabezada por Richard Lazarus (1981, 1984), mantenía que la emoción no puede ocurrir sin una valoración cognitiva. La transpiración y el aumento de la frecuencia cardiaca, ambos signos de *arousal*[1], pueden ocurrir cuando se ve una película de terror, cuando se habla con alguien que se considera atractivo o cuando se hace ejercicio en el gimnasio; pero en cada caso nuestra valoración de la propia respuesta emocional muy probablemente sea diferente. Así, nuestra respuesta emocional —digamos, de desagrado o de alegría— depende de las razones por las que experimentamos *arousal*, y determinar esto es parte de la cognición (Schacter y Singer, 1962). Zajonc, entonces, razonó que la emoción puede darse independientemente de la cognición y Lazarus opinó que la emoción depende de un subconjunto de procesos cognitivos; sus escritos ayudaron a dirigir la atención de los investigadores hacia la interacción entre emoción y cognición.

[1] Activación neurológica *(N. del T.)*.

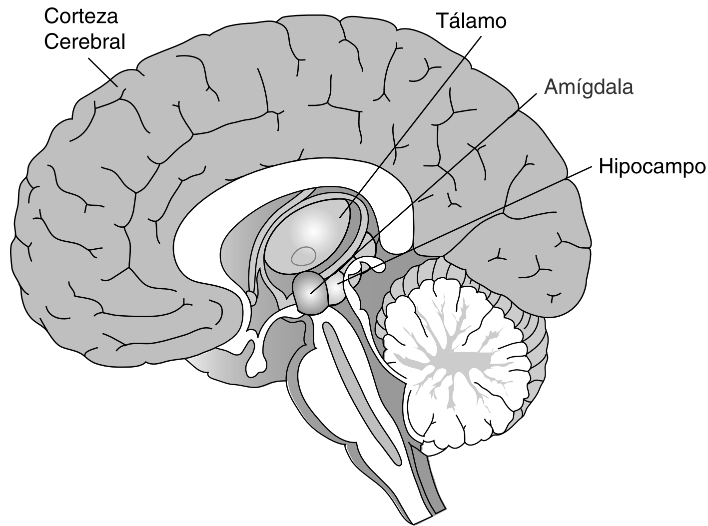



**FIGURA 8-1** La amígdala

La amígdala interviene decisivamente en el procesamiento de los estímulos emocionales. Aunque los antiguos griegos y hebreos (al igual que los isabelinos ingleses) creían que el hígado era la sede de las emociones, el punto de vista de la era moderna es otro.

Pero el factor particular que más influye en este nuevo enfoque es nuestro progresivo conocimiento de los sistemas neurales que subyacen a la emoción. Ahora, a partir de estudios de neuroimagen y otros estudios basados en el cerebro, se piensa que ciertas estructuras cerebrales están más o menos especializadas en procesar estímulos emocionales. Una de esas estructuras es la **amígdala**, una pequeña estructura con forma de almendra situada en el lóbulo temporal medial, justo delante del hipocampo (LeDoux, 1996) (véase la Figura 8-1). Estas investigaciones coinciden con la idea de que existen sistemas diferenciados que median la emoción. Sin embargo, estas estructuras neurales especializadas en la emoción influyen en, y están influidas por, sistemas neurales que se sabe son importantes para conductas cognitivas (Dolan, 2002; Oschner *et al.,* 2002). La deducción es que la emoción y la cognición son interdependientes.

Ya no se considera adecuado estudiar la emoción sin considerar la cognición y viceversa. Los sistemas neurales, y la expresión comportamental, de la emoción y de la cognición son interdependientes en muchas circunstancias. El conocimiento de la cognición es incompleto si no se explora el papel de la emoción.



## *Control de comprensión*



1. ¿En qué sentido es una pregunta muy antigua qué relación existe entre cognición y emoción?, ¿en qué sentido es nueva?
2. ¿Cuál es la diferencia clave entre la postura de Lazarus y la de Zajonc?

## 2 Definición de emoción

Muchos han argumentado que el principal atractivo del arte es la sutileza y la fuerza con que las emociones pueden ser expresadas por el artista y evocadas en el espectador —es la esencia de la concepción aristotélica de la tragedia—. Sin duda, Shakespeare conocía las intrigas de las vidas emocionalmente complejas; su propósito, según sus propias palabras, era «reflejar, por así decirlo, fielmente la naturaleza» y representaba esas emociones en sus obras. Una gran ópera combina escenarios dramáticos y música sublime para exaltar la experiencia emocional de la audiencia. Una gran canción de rock consigue algo más que hacer que nuestros pies se muevan al compás —también arrastra nuestras emociones—. Todos nosotros, no sólo los artistas, tenemos un rico vocabulario para describir nuestra vida emocional: *feliz, eufórico, contento, encantado, alegre, complacido, jovial, exultante, alegre, dichoso*; todas estas palabras describen variaciones subjetivas de la experiencia de «felicidad». El arte y el lenguaje enfatizan la complejidad y la sutileza de la emoción. Pero, ¿cómo podemos definir la emoción de un modo que refleje la gama de experiencias emocionales y aun así sea objetivo y que, por lo tanto, permita la investigación científica?

Investigadores y filósofos se han enfrentado a este problema. Aunque la mayoría de las personas no tienen dificultad para describir sus emociones, es difícil encontrar una única definición de la emoción (Russell, 2003). Así, el término *emoción* se ha utilizado para aludir a procesos mentales y físicos que incluyen aspectos de experiencia subjetiva, evaluación y valoración, motivación y respuestas corporales tales como *arousal* y expresión facial. Para los fines de este capítulo (modificado de Scherer, 2000), utilizaremos el término **emoción** cuando nos refiramos a un episodio relativamente breve de respuestas sincronizadas (las cuales pueden incluir respuestas corporales, expresión facial y valoración subjetiva), que indica la valoración de un acontecimiento externo o interno como significativo. El término emoción hace referencia a una serie de reacciones de duración limitada ante los acontecimientos, tales como sentir alegría, miedo o tristeza en respuesta a enterarse de ciertas noticias. El término **estado de ánimo**, por otra parte, se utiliza para referirse a un estado afectivo difuso que es más acusado como un cambio en los sentimientos subjetivos. Los estados de ánimo son en general estados afectivos de poca intensidad pero relativamente largos y, en ocasiones, sin causa aparente, como por ejemplo una sensación espontánea de tristeza o de contento. Dos conceptos relacionados son la actitud y la motivación. Las **actitudes** son ideas relativamente perdurables, con carga afectiva, preferencias y predisposiciones hacia objetos o personas, como pueden ser el agrado, el amor, el odio o el deseo hacia un objeto o una persona. Por último, **motivación** se refiere a la tendencia a la acción que forma parte de algunas respuestas afectivas. Cuando vemos una película de terror, en momentos de miedo podemos cerrar los ojos para escapar de la imagen en la pantalla. Una función esencial de la emoción es motivar la acción (si la imagen en la pantalla hubiera sido real, nuestra acción en respuesta a ella podría haber sido de mayor magnitud y es posible que hubiéramos sobrevivido para ver otro día).

En un intento de establecer un marco científico para investigar la emoción, los investigadores se han centrado en diversos aspectos de la experiencia afectiva (expresiones faciales, sensación de *arousal*, motivación), tratando de captar una serie de respuestas de emoción, tales como tristeza, miedo y alegría. Los dos enfoques actuales principales de clasificación de la diversidad de estados emocionales son el intento de

definir las emociones básicas y el de explorar sus dimensiones. Cada enfoque es más o menos útil, según la pregunta a responder.

## 2.1. Emociones básicas

En su innovador trabajo titulado «Sobre el origen de las especies» (1859), Charles Darwin fue uno de los primeros en plantear que existían un número limitado de emociones humanas básicas y universales. Obtuvo esta idea, en parte, de colegas que habían estudiado diferentes culturas en todo el mundo. Cuando Darwin les preguntó acerca de la vida emocional de las personas muy alejadas de la cultura occidental, todos ellos hablaron de expresiones faciales similares. Darwin sugirió que esta universalidad de la expresión emocional implica una experiencia emocional común.

Casi cien años después, Paul Ekman y sus colaboradores estudiaron la expresión facial de la emoción y sugirieron que existen seis expresiones básicas de emoción, correspondientes a la ira, el desagrado, el miedo, la alegría, la tristeza y la sorpresa (Ekman y Friesen, 1971) (véase la Figura 8-2). Cada una de estas expresiones se caracte-

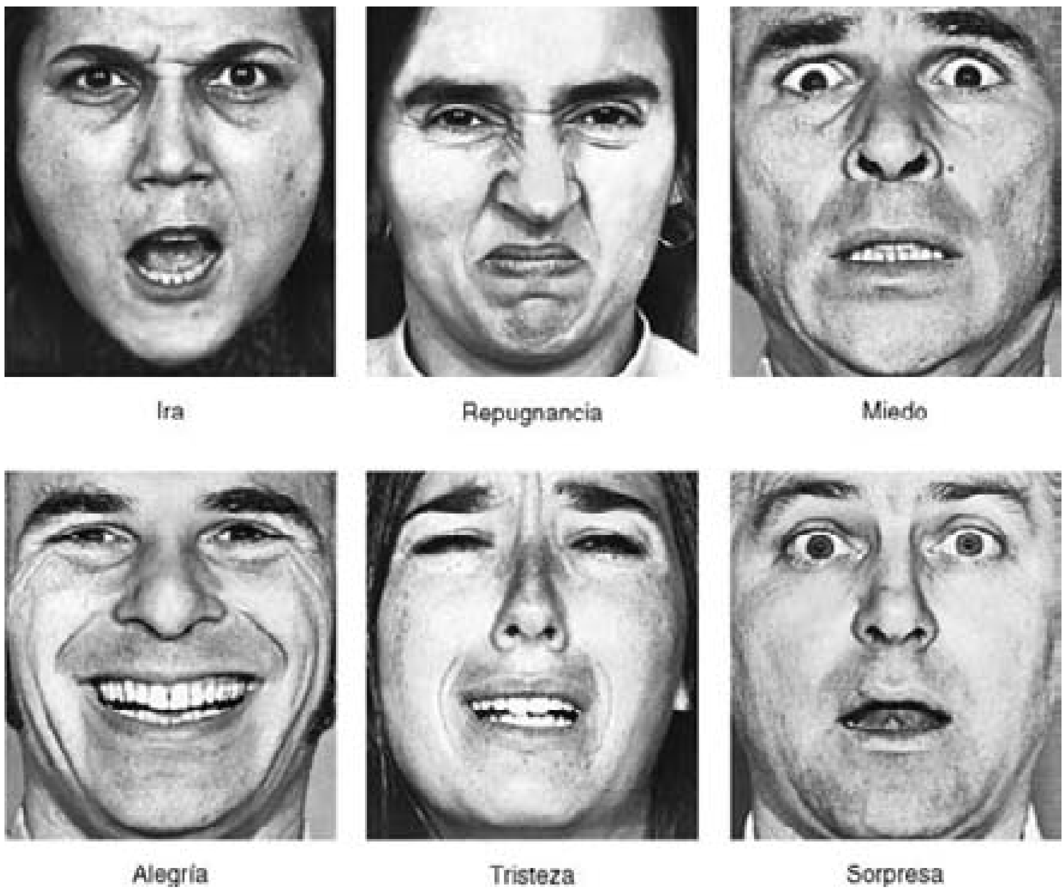



**FIGURA 8-2** Expresiones de emoción: únicas y universales

Las seis expresiones faciales que se encuentran prácticamente en todas las culturas. Cada una de ellas se lleva a cabo mediante un subconjunto único de movimientos de los músculos faciales.
(Fotografía de Paul Ekman Ph. D.)

riza por un subconjunto distintivo de movimientos de los músculos faciales; la habilidad para realizarlos parece ser innata. Los niños manifiestan estas expresiones faciales, al igual que las personas ciegas de nacimiento y que, por lo tanto, nunca han tenido la oportunidad de imitarlas. Parece ser que dichas expresiones faciales son universales y similares en variedad, apariencia, e interpretación, tanto nos encontremos en Papúa (Nueva Guinea) o en Buffalo (Nueva York). Más recientemente, los investigadores interesados en detectar el engaño han aprovechado este conocimiento detallado de los movimientos musculares característicos que corresponden a expresiones faciales genuinas para contribuir a determinar cuándo alguien está mintiendo (Gladwell, 2002).

Sirviéndose de estas expresiones faciales emocionales y sociales como estímulos en experimentos, los investigadores han comenzado a estudiar los sistemas neurales que subyacen a la percepción de las expresiones emocionales básicas. Se ha observado que ciertos sistemas neurales parecen estar especializados en percibir expresiones emocionales específicas. Por ejemplo, hay muchos informes publicados de pacientes con daño bilateral de la amígdala que tienen una dificultad específica para percibir las expresiones de miedo (Adolphs *et al.*, 1999). Últimamente, se ha comprobado que otras estructuras neurales —la ínsula y los núcleos basales[2]— median la percepción del desagrado (Calder *et al.*, 2001), y que un sistema neurotransmisor (activado por la dopamina) y una estructura neural (el estriado ventral[3]) juegan un papel importante en la percepción de las expresiones de ira (Calder *et al.*, 2003; Lawrence *et al.*, 2002). Aunque aún no se conoce por completo cuáles son las representaciones neurales específicas en las que se basa la percepción de cada una de las seis expresiones de emoción básicas descritas por Ekman, esta investigación apoya la idea de que de hecho existen distintas **emociones básicas**, reacciones emocionales que son universales en diferentes culturas. Sin embargo, es importante reconocer que las seis emociones básicas de Ekman no abarcan la diversidad de la experiencia emocional humana. Otras muchas emociones más complejas, entre ellas la culpabilidad y el amor, no se ligan tan evidentemente con expresiones faciales específicas.

## 2.2. Enfoques dimensionales

En el estudio de la emoción, los enfoques dimensionales pretenden clasificar la diversidad de estados emocionales en ciertas escalas específicas. Nuestras emociones no están simplemente «conectadas» o «desconectadas», sino que las experimentamos como un *continuum*. Los dos enfoques dimensionales más importantes utilizados por los investigadores enfatizan, e intentan cuantificar, diferentes aspectos de la experiencia emocional.

### 2.2.1. El modelo de circunferencia

***Arousal*** es el término global para referirse a los cambios corporales que ocurren en la emoción, tales como cambios en la frecuencia cardiaca, transpiración y liberación de hormonas del estrés en respuesta a un estímulo —los cambios en nuestro yo físico

[2] Los núcleos basales están formados por el cuerpo estriado (núcleos caudado y lenticular), el antemuro y el núcleo amigdalino *(N. del T.)*.

[3] Parte del cuerpo estriado que incluye al núcleo *accumbens (N. del T.)*.

cuando vemos una película de terror o pedimos una cita—. La intensidad de la reacción emocional se puede evaluar por la intensidad de esas respuestas. El **valor**, por otro lado, es la cualidad subjetiva, positiva o negativa, de la respuesta emocional a un objeto o acontecimiento específico. Cada una de estas dos dimensiones se puede situar en una escala: se puede estar dormido, relajado, o muy excitado; se puede estar tremendamente complacido, indiferente o totalmente apagado —y en cualquier situación intermedia—.

El **modelo de circunferencia** de la emoción sitúa el estado de «*arousal*» en un eje y el «valor» en el otro (Barret y Russell, 1980. «*Arousal*» se refiere tanto a la intensidad de la respuesta a un estímulo como a la activación, esto es, a la movilización de los recursos. El «valor» (o la «evaluación») refleja el grado en el que la experiencia resulta agradable o desagradable. Mediante estas dos dimensiones de la experiencia emocional, el modelo de circunferencia crea un marco gráfico en el cual se puede situar una variedad de estados emocionales. Por ejemplo, la «tristeza», el «miedo», la «excitación» y el «nerviosismo» se consideran estados emocionales separados. Podrían entenderse como variaciones de un estado a lo largo de las dimensiones de *arousal* y valor. La «tristeza» y el «miedo» son ambas emociones desagradables, pero la «tristeza» no produce tanto *arousal* o activación como el «miedo». La «excitación» y el «nerviosismo» son ambos estados que provocan *arousal*, pero la «excitación» es relativamente positiva y el «nerviosismo» relativamente negativo. A medida que se sitúan en el gráfico más respuestas emocionales, se hace evidente porqué se llama así este modelo: todos los datos se sitúan siguiendo una configuración circular (véase la Figura 8-3).

Las dimensiones de *arousal* y valor pueden tener distintas representaciones en el cerebro humano. Por ejemplo, un estudio examinó las pautas de activación cerebral que produce la presentación de estímulos olfativos (A. K. Anderson *et al.,* 2003). La amígdala respondió principalmente a la intensidad del olor independientemente de que éste le resultara o no agradable al sujeto, mientras que diferentes subregiones de la corteza orbitofrontal (COF) respondieron cuando el olor, o bien era agradable (respuesta de la COF medial), o bien era desagradable (respuesta de la COF lateral), con independencia de la intensidad del estímulo. Estos resultados sugieren que la amígdala, que también juega un papel importante en nuestra percepción de las expresiones de miedo de los demás, puede codificar varios aspectos diferentes de la experiencia emocional.

### 2.2.2. Distinción entre aproximación y retirada

Las emociones pueden clasificarse a lo largo de la dimensión de *motivación*, que puede definirse como la tendencia a la acción que forma parte de algunas respuestas emocionales. Diferentes emociones conducen a diferentes objetivos de acción. Algunas, como la alegría, la sorpresa y la ira, se consideran «emociones de aproximación» en tanto que evocan el deseo de aproximarse al estímulo o a la situación que las provoca. En contraposición, otras, como la tristeza, el desagrado y el miedo, se consideran «emociones de retirada» en cuanto que provocan el deseo de alejarse de los objetos o las situaciones relacionados con esa emoción.

El **modelo de aproximación y retirada** caracteriza el componente de una reacción emocional que es la tendencia a la acción —esto es, la motivación—, ya sea una tendencia a aproximarse al objeto, acontecimiento o situación, o a alejarse de él. David-

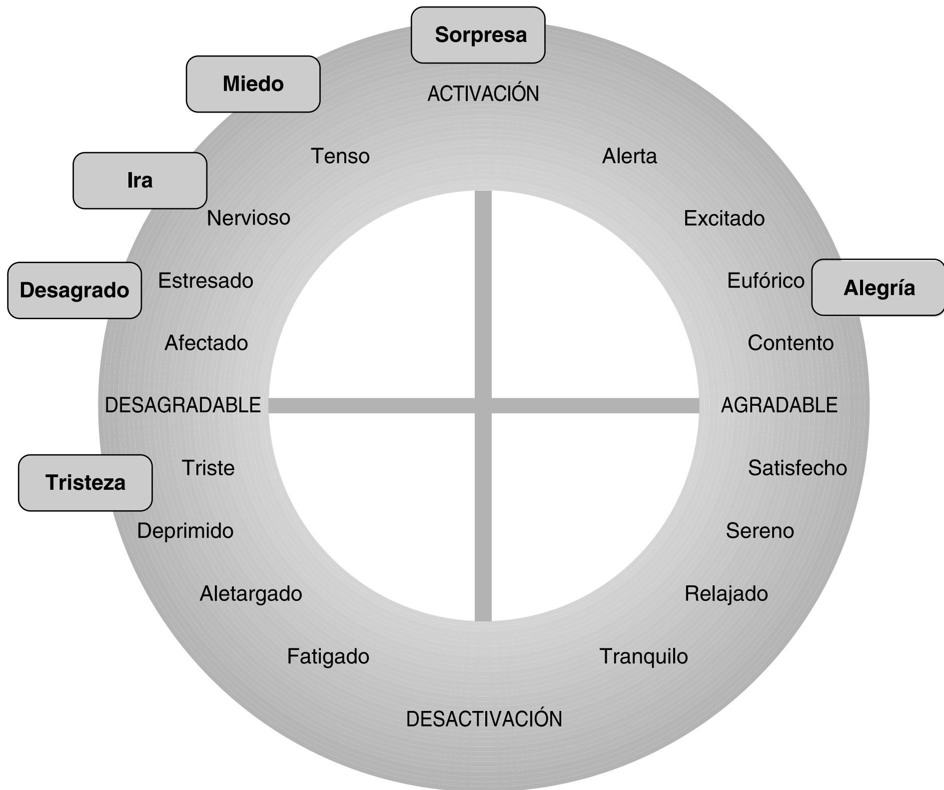



**FIGURA 8-3** El modelo de circunferencia de la emoción

Este gráfico, en el cual la activación se marca en el eje vertical y el valor en el horizontal, permite representar una gama de estados emocionales. Las emociones básicas se resaltan con recuadros.
(Russell J. A. y Barrett L. F. (1999) Core affect, prototypical emotional episodes and other things called emotion: Dissecting the elephant. *Journal of Personality and Social Psychology, 76*, pp. 805-819. © 1999 American Psychological Association. Reimpreso con autorización).

son y sus colaboradores (2000) han aportado pruebas de que existe una asimetría cerebral en la representación neural de la tendencia a la aproximación o a la retirada. Utilizando la técnica de EEG, estos investigadores hallaron que los sujetos diferían en el nivel relativo de actividad de la región anterior del hemisferio cerebral izquierdo y derecho en estado de reposo y relacionaron esta asimetría con su diversa disposición. Aquellos sujetos que se habían calificado a sí mismos con valores más altos en una serie de rasgos afectivos positivos tales como entusiasmo, orgullo y cortesía (rasgos de «aproximación») mostraron una actividad EEG relativamente mayor en la región frontal anterior izquierda, mientras que los que se habían calificado con valores más altos en rasgos afectivos negativos tales como irritabilidad, culpabilidad y miedo (rasgos de «retirada») mostraron una actividad EEG relativamente mayor en la región frontal anterior derecha (véase la Figura 8-4).

Esta asimetría también refleja respuestas emocionales. En un fascinante estudio realizado con bebés, los investigadores hallaron que los niños con una actividad EEG predominante en el hemisferio derecho en estado de reposo eran más propensos a llorar y alborotar cuando se les separaba de su madre que los niños con una actividad EEG predominante en el hemisferio izquierdo (Davidson *et al.*, 2000). Aunque todas

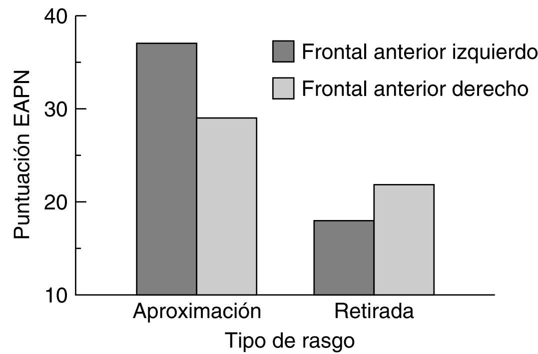



**FIGURA 8-4** Asimetría de la actividad cerebral y diferencia en la disposición

Los sujetos que tenían un alto grado de actividad en la región frontal anterior izquierda en reposo (medido mediante EEG) se calificaron a sí mismos con puntuaciones más altas en rasgos de «aproximación», tales como entusiasmo, orgullo y cortesía. Los que tenían un alto grado de actividad en la región frontal anterior derecha se calificaron a sí mismos con puntuaciones más altas en rasgos de «retirada», tales como irritabilidad, culpa y miedo. La escala de evaluación es la Escala de Afectos Positivos y Negativos (EAPN); en el eje horizontal se indica si se están evaluando rasgos de aproximación (afecto positivo) o de retirada (afecto negativo).

(Adaptado de Tomarken, A. J., Davidson, R. J., Wheeler, R. E. y Doss, R. C. (1992). Individual difference in anterior brain asymmetry and fundamental dimensions of emotions. *Journal of Personality and Social Psychology, 62,* pp. 676-682. Copyright © American Psychological Association. Reimpreso con autorización).

las personas sanas pueden tener tanto una disposición de aproximación y de retirada como respuestas emocionales, la frecuencia relativa y la intensidad de estas reacciones emocionales en una persona dada pueden estar relacionadas con la relativa asimetría de la línea de base de la actividad en la región anterior del hemisferio cerebral derecho y el izquierdo.



## *Control de comprensión*



1. ¿A qué pruebas se recurre para apoyar la idea de que existen emociones básicas que son universales en cualquier cultura?, ¿cuáles son esas emociones básicas?
2. Descríbase una reacción emocional que pueda desembocar en una respuesta de aproximación y otra que pudiera estar relacionada con una respuesta de retirada.

# 3 Manipulación y valoración de la emoción

En tanto que animales sociales, a menudo tratamos de manipular y valorar las emociones, los estados de ánimo y las actitudes de los que nos rodean —esto es lo que hacemos cuando intentamos reconfortar a un amigo afligido o tranquilizar a un niño asustado—. Pero aunque manipular y valorar el afecto forma parte de la experiencia humana, hacerlo de manera que se pueda evaluar de un modo objetivo y fiable constituye un reto. Los investigadores interesados en el estudio de la emoción han afrontado el reto utilizando una serie de técnicas.

## 3.1. Manipulación mediante inducción de estados de ánimo

Como se mencionó anteriormente, el estado de ánimo es un estado afectivo más estable y difuso que la emoción, más duradero y no necesariamente ligado a un acontecimiento u objeto específico. En el campo de la investigación, un método que se ha utilizado para manipular la experiencia afectiva es cambiar el estado de ánimo de los sujetos. Esta técnica, llamada *inducción del estado de ánimo*, se centra en cambiar el estado inicial que dicen tener los sujetos cuando llegan al laboratorio. Los medios habituales de cambiar el estado de ánimo del sujeto consisten en mostrarle fragmentos de películas con carga afectiva (jocosamente divertidas o lúgubres y desoladoras, dependiendo del cambio de estado de ánimo que pretenda conseguir el investigador), hacerles escuchar música (una vez más, optimista o solemne) o pedir al sujeto que se concentre en situaciones afectivas, reales o imaginarias, que lleven a un estado de ánimo, ya sea positivo, ya sea negativo. Se considera que se ha conseguido la inducción del estado de ánimo si el sujeto señala que ha tenido un cambio de éste en el sentido pronosticado.

## 3.2. Manipulación mediante estímulos evocadores

La técnica que se emplea más frecuentemente en laboratorio para manipular la emoción (en contraposición al estado de ánimo) es presentar *estímulos que evocan emoción*. Generalmente, los estímulos que se utilizan para inducir una respuesta emocional en los sujetos son fotografías de caras con diferentes expresiones emocionales; fotografías de escenas emotivas tales como las de un bebé encantador o la imagen, nada atractiva, de la boca del cañón de una pistola (véase la Figura 8-5); palabras que varían en cuanto a valor y *arousal*; dinero; un ruido fuerte y una descarga moderada.



**FIGURA 8-5** Estímulos que evocan emoción

Ejemplos de escenas emocionales positivas y negativas tomadas del *International Affective Picture System,* concebido por Peter J. Lang y colaboradores.

(Fotografía de la izquierda, cortesía de Jo Foord y Dorling Kindersley. Fotografía de la derecha, de John McGrail. Cortesía de *The Stock Connection*).

Al presentar a los sujetos estos estímulos que evocan una experiencia emocional, los investigadores pueden indagar el impacto que tiene esta experiencia emocional en el comportamiento mental y físico y las respuestas neurales.

## 3.3. Valoración directa de la emoción

¿Cómo podríamos saber si estamos logrando o no nuestro intento de consolar a un amigo triste? Podríamos simplemente preguntar: «¿Cómo te sientes ahora?». O bien podríamos ver si se da una reacción emocional, tal como una sonrisa o el fin de las lágrimas. Probablemente, la técnica que más se utiliza para evaluar los estados o las respuestas afectivos, tanto dentro como fuera del laboratorio, es el informe que da el sujeto de sí mismo. Si queremos saber cómo se siente alguien, se lo preguntamos. Esta es una forma de *evaluación directa*, en la que los sujetos informan explícitamente de su reacción emocional, estado de ánimo o actitud. Pese a ser un método que se emplea a menudo para evaluar estados afectivos, se basa en la introspección y está afectado por convencionalismos culturales. De ahí que sea importante disponer de un método para determinar una reacción afectiva mediante una *evaluación indirecta*, esto es, valiéndose de métodos independientes del informe subjetivo y del lenguaje.

## 3.4. Valoración indirecta de la emoción

Una manera de realizar una *evaluación indirecta* es pedir al sujeto que elija entre diferentes opciones, asumiendo que una evaluación emocional de las opciones determina en parte la elección. Una segunda medida indirecta de evaluación emocional es inhibir o facilitar una conducta, por ejemplo, el tiempo de respuesta o los movimientos oculares. El placer de ver una alegre reunión de amigos en el patio fuera de clase puede hacer que nos entretengamos mirándolos y seamos lentos en responder a una pregunta. La emoción puede influir en nuestras acciones y en la facilidad con la que respondemos, tanto inhibiendo como facilitando conductas.

Una tercera técnica de evaluación indirecta se vale de la **psicofisiología**, el estudio de la relación entre los estados mentales y las respuestas fisiológicas. Uno de los aspectos fundamentales en los que la emoción se diferencia de otros procesos mentales es que la emoción por lo general lleva a cambios sustanciales en nuestro estado físico. Como se describió en el Capítulo 1, el sistema nervioso autónomo, parte del sistema nervioso periférico, se ocupa de mantener el medio interno del organismo. Su rama simpática, que prepara al cuerpo para la acción frente a, digamos, un acontecimiento amenazador, puede activarse e iniciar una serie de respuestas fisiológicas, que incluyen la dilatación de las pupilas, la transpiración y el aumento de la frecuencia cardiaca y la tensión arterial. A la par, la activación de la rama parasimpática predomina cuando la amenaza ha pasado y el organismo se encuentra en estado de reposo; sus funciones, que sirven esencialmente para conservar energía, tales como la disminución de la frecuencia cardiaca, también se pueden medir (véase la Figura 8-6). Una emoción subyacente se puede reflejar asimismo en las respuestas reflejas y en los movimientos de los músculos faciales. Todas estas respuestas corporales se pueden evaluar con métodos psicofisiológicos.

Dos importantes respuestas psicofisiológicas que evalúan los investigadores interesados en la emoción son la *respuesta de conductibilidad de la piel* y el *sobresalto de parpadeo potenciado*.

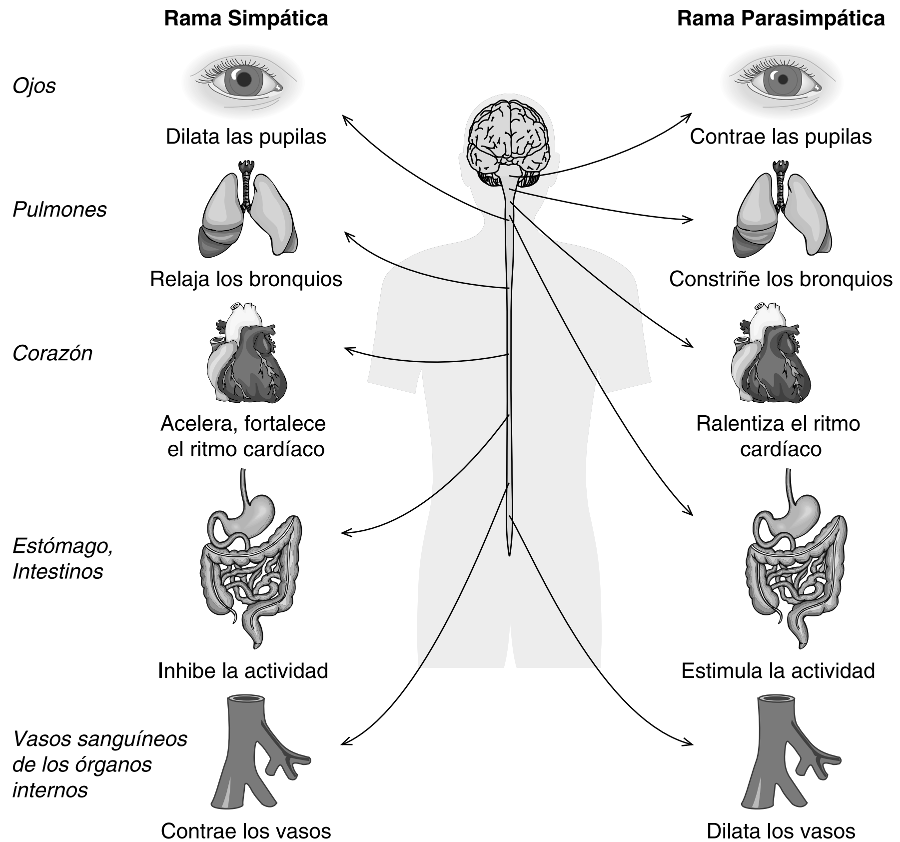



**FIGURA 8-6** El sistema nervioso autónomo

La rama simpática prepara el organismo para la acción; la rama parasimpática contrarresta la acción de la rama simpática y mantiene el equilibrio del organismo en reposo.
(Barry D. Smith, *Psychology, Science and Understanding*, p. 73. New York: McGraw-Hill 1998. Reimpreso con autorización).

La **respuesta de conductibilidad de la piel** (RCP) es un signo de activación del sistema nervioso autónomo. Incluso un sutil estímulo emocional puede provocar una respuesta de las glándulas sudoríparas (controladas por el sistema nervioso autónomo). El aumento de transpiración origina un cambio en la conductividad eléctrica de la piel. La RCP se determina colocando electrodos en los dedos del sujeto; los electrodos hacen pasar una débil corriente eléctrica a través de la piel. Se miden los cambios en la resistencia a la corriente, los cuales ocurren con pequeños cambios de la transpiración. Puede que estemos ya familiarizados con la RCP, ya que se usa habitualmente como un elemento componente del detector de mentiras. Debido a que frecuentemente se asume que la culpabilidad o la ansiedad cuando se miente se asocian con una reacción emocional, las respuestas que se sabe que son verdaderas (por ejemplo, nuestro nombre o nuestra dirección) deberían producir una RCP menor que las respuestas que no lo son.

La fuerza del reflejo de sobresalto, la respuesta que sigue a un estímulo repentino y sorprendente, tal como escuchar de repente un fuerte ruido, puede medirse. Si estamos paseando al mediodía por una calle relativamente tranquila y de pronto oímos el petardeo del escape de un coche, es posible que nos sobresaltemos. Si escuchamos el mismo sonido a última hora de la noche y en una calle desierta cuando ya nos esta-

mos sintiendo un poco ansiosos, es posible que se sobresaltemos aún más. El sobresalto es un reflejo que se *potencia*, o se refuerza, cuando nos encontramos en un estado emocional negativo. El grado de potenciación se puede medir en laboratorio examinando la intensidad de la respuesta de parpadeo, un componente del reflejo de sobresalto. La intensidad de esta respuesta se mide mediante electrodos situados en la piel sobre los músculos del ojo. La cantidad de contracción muscular refleja la intensidad del reflejo de sobresalto. Parpadeamos con más fuerza cuando nos sobresaltamos más, lo cual se denomina **sobresalto de parpadeo potenciado**. Un investigador interesado en las respuestas emocionales de un sujeto ante diferentes escenas presentará, una a una, diferentes escenas y de forma imprevista hará que suene un fuerte chasquido o un sonido estrepitoso. La diferencia en la intensidad del sobresalto de parpadeo potenciado que ha producido el sonido aporta información sobre el estado emocional que han evocado las diferentes escenas. Las escenas más negativas inducen una respuesta refleja de parpadeo más fuerte que las escenas neutras o más positivas (Lang *et al.,* 1990).

Una de las distinciones interesantes entre la RCP y las medidas del sobresalto potenciado es que la RCP refleja el *arousal* que puede ocurrir en respuesta a estímulos tanto positivos como negativos, mientras que el reflejo de sobresalto está modulado por el valor —esto es, aumenta cuando el sujeto se halla en un estado emocional negativo y disminuye cuando se encuentra en un estado emocional positivo—. Ambas medidas proporcionan una evaluación fisiológica, indirecta, de una emoción, pero se diferencian en cuanto al tipo de información emocional que registran.



### *Control de comprensión*



1. Descríbase una técnica que se pueda utilizar en laboratorio para manipular la emoción.
2. Asimismo, ponga un ejemplo de evaluación directa y otro de evaluación indirecta de una respuesta emocional.

## 4 Aprendizaje emocional: adquisición de valoraciones

¿Por qué nos gustan algunos géneros de películas y otros no?, ¿algunas marcas de jabón y otras no?, ¿algunos tipos de personas y otros no? En este análisis, lo que se supone que es una respuesta racional —en el caso de las películas, «porque me gustan los efectos especiales»— no es suficiente. ¿Qué *subyace* a estas preferencias? He aquí otro ejemplo: ¿Nos hemos sentido inquietos en alguna ocasión, sin motivo aparente, ante una persona a la que apenas conocíamos —y posteriormente nos hemos dado cuenta de que esa persona nos recordaba a alguien que en alguna ocasión nos hizo daño? ¿qué *subyace* a esta reacción emocional?—.

Todos estos casos implican **aprendizaje emocional** —aprendizaje, de un modo u otro (y no siempre en base al hecho) de que las personas, los lugares y los objetos no son todos neutros, sino que frecuentemente adquieren algún tipo de valor—. Algunas personas, lugares u objetos son mejores o peores, reconfortantes o espeluznantes, o

simplemente buenos o malos. Este valor determina, en parte, nuestra reacción emocional a la persona, el lugar o el objeto.

Algunos estímulos que evocan emociones son, en sí mismos, positivos o negativos; no es necesario aprender su valor. Una descarga moderada es algo aversivo para todos los animales, desde las mascotas familiares hasta los premios Nobel. Estos tipos de estímulo se llaman **reforzadores primarios** porque sus propiedades de motivación se dan de modo natural y no han de aprenderse. Otros estímulos provocan una motivación sólo porque hemos aprendido que representan consecuencias positivas o negativas. Una bañera llena de billetes de 100 € no nos mantendrá calientes (o al menos, no muy calientes), no tendrá buen sabor ni proporcionará seguridad —sin embargo, sería muy agradable tener una bañera llena de billetes de 100 €—. El dinero tiene valor debido a que hemos aprendido a asociarlo con estímulos que motivan por sí mismos: con dinero podemos comprar cosas que nos mantengan calientes, que tengan buen sabor y que nos proporcionen seguridad. El dinero es un ejemplo clásico de un **reforzador secundario**, un estímulo que adquiere sus propiedades de motivación mediante aprendizaje.

Comprender cómo los estímulos adquieren valor afectivo interesa a una amplia serie de profesionales, entre ellos, los anunciantes y los entrenadores de animales. Para los psicólogos, entender cómo un estímulo llega a asociarse con una emoción es un punto clave al investigar cómo interaccionan la emoción y la cognición. Existen varios medios mediante los cuáles un estímulo puede adquirir significado emocional.

## 4.1. Condicionamiento clásico

El nombre que se asocia más a menudo con el condicionamiento clásico es el de Iván Pavlov (1849-1936), el gran fisiólogo ruso que descubrió los principios de dicho condicionamiento. Pavlov estaba interesado en la digestión y trató de examinar la salivación en los perros como respuesta ante la comida. Sus estudios se complicaron cuando los perros empezaron a salivar *antes de que se les presentara la comida*: la respuesta de salivación ocurría cuando un investigador abría la puerta de la perrera. Los perros salivaban como respuesta a un acontecimiento *asociado con* la presentación de la comida. Pavlov se dio cuenta de que reflejos tales como la salivación pueden evocarse no sólo mediante el estímulo apropiado (en este caso, la comida), sino también mediante acontecimientos asociados con esos estímulos inductores del reflejo. Las investigaciones posteriores han demostrado que todos los tipos de reflejos y de respuestas, incluso las respuestas emocionales, se pueden provocar mediante condicionamiento.

En el estudio de la emoción, se ha hecho evidente que los estímulos que están ligados a acontecimientos positivos o negativos por sí mismos obtienen cualidades afectivas y provocan reacciones afectivas. Por ejemplo, si hemos tenido un accidente de automóvil, no será sorprendente si nos sentimos inquietos en la próxima ocasión en la que nos encontremos en el cruce en el que ocurrió el accidente. La asociación entre el lugar que era previamente neutro y el accidente negativo lleva a una respuesta de *arousal* condicionada y una sensación de nerviosismo relacionada con ese lugar. No nos resulta extraño que nos sintamos ansiosos o en alerta ante personas, lugares u objetos que previamente se han relacionado con experiencias no placenteras. Este es el resultado de un **condicionamiento clásico emocional**, la asociación aprendida entre un acontecimiento neutro y un acontecimiento emocional.

El condicionamiento clásico emocional se puede expresar de diferentes modos. En tanto que *condicionamiento autónomo*, se puede expresar a través de respuestas corporales, tales como una respuesta de *arousal*. Como *condicionamiento de valoración*, se puede expresar a través de una preferencia o una actitud: un estímulo que predice un acontecimiento emocional negativo se puede calificar aún más negativamente. La mayoría de los estudios de condicionamiento clásico emocional examinan tanto las respuestas autónomas como los informes de evaluación subjetiva, aunque estos dos tipos de respuesta condicionada con frecuencia se adquieren simultáneamente.

Una de las formas de condicionamiento autónomo más estudiadas es el condicionamiento aversivo o *miedo condicionado*. El miedo condicionado ocurre en el caso de que un estímulo neutro emparejado con un suceso aversivo o atemorizador llega a producir una respuesta de miedo cuando el acontecimiento se presenta solo. Esto es lo que sucede cuando se da la respuesta de *arousal* adquirida al lugar donde ocurrió el accidente de automóvil. Ésta es una experiencia que nos resulta familiar: la mayoría de nosotros podemos encontrar ejemplos en nuestras vidas para reemplazar «accidente de coche» por «cruce». El aprendizaje mediante condicionamiento aversivo se ha considerado un modelo de aprendizaje del miedo en general; se ha sugerido que puede relacionarse específicamente con las fobias (Ohman y Mineka, 2001).

El condicionamiento aversivo se ha estudiado en profundidad tanto en seres humanos como en no humanos. Se ha demostrado en diversas especies que la amígdala es una estructura cerebral con un papel decisivo en la adquisición así como en la expresión del condicionamiento aversivo (LeDoux, 1996). Los seres humanos con una lesión en la amígdala no adquieren respuestas de miedo condicionado (Bechara *et al.,* 1995; LaBar *et al.,* 1995), pero manifiestan una capacidad normal de indicar que el estímulo neutro predice al acontecimiento aversivo o atemorizante. Por ejemplo, a un paciente conocido como S. P., que había sufrido un daño bilateral en la amígdala, y a sujetos normales de referencia se les sometió a varios emparejamientos de un cuadrado azul y una descarga moderada en la muñeca (véase la Figura 8-7). Tras unos cuantos ensayos, los sujetos normales tuvieron una respuesta de conductibilidad de la piel ante el cuadrado azul presentado solo, lo que indica que había tenido lugar un condicionamiento autónomo. Sin embargo, S. P., no mostró signos de *arousal* ante el cuadrado azul solo, aunque su respuesta de *arousal* a la descarga fue normal. Cuando se le enseñaron a S. P. sus datos y se le preguntó qué pensaba de los resultados, respondió:

> Sabía que era de esperar que el cuadrado azul, en algún momento determinado, traería consigo una de esas descargas eléctricas. Pero a pesar de que lo sabía, y lo sabía desde el principio, excepto con el primero de todos —que me sorprendió—, esa fue mi respuesta. Sabía que iba a suceder. Esperaba que ocurriera. De modo que supe desde el principio lo que iba a ocurrir: azul y descarga. Y ocurrió. ¡Tenía razón, ocurrió! *(Phelps, 2002)*

Está claro que S. P. entendía el condicionamiento del miedo y tenía memoria episódica de los acontecimientos del estudio. La capacidad de adquirir e informar de esta representación explícita depende de estructuras temporales mediales, la denominada formación hipocámpica, que se sitúa cerca de la amígdala (véase el Capítulo 5). Los pacientes con una lesión en el hipocampo que tienen intacta la amígdala presentan el tipo de resultados opuesto; esto es, muestran un condicionamiento autónomo normal, evaluado mediante RCP, pero no pueden decir que el cuadrado azul predice la descarga (Bechara *et al.,* 1995).

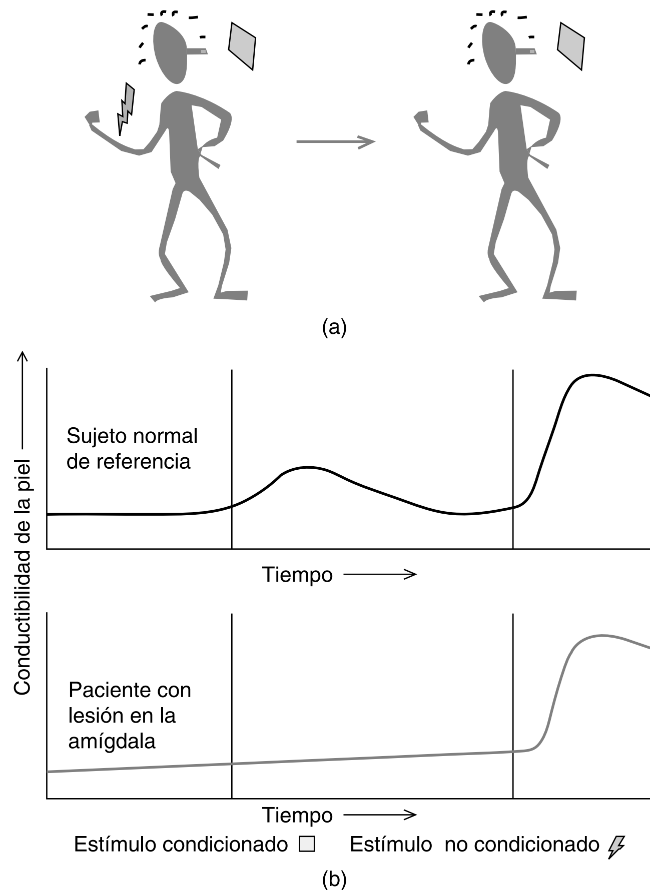



**FIGURA 8-7** Miedo condicionado: cuándo ocurre y cuándo no

(a) El miedo condicionado ocurre en sujetos normales: emparejar una descarga eléctrica con un cuadrado gris produce una respuesta emocional condicionada al cuadrado gris cuando éste se presenta solo. (b) En el gráfico se representa la respuesta de la amígdala del paciente S. P. (abajo) y de un sujeto normal de referencia (arriba) en el experimento de «cuadrado gris y descarga eléctrica». Ambos muestran una Respuesta de Conductibilidad de la Piel (RCP) a la descarga eléctrica en sí misma (extremo derecho), pero sólo el sujeto normal muestra una RCP al estímulo condicionado. (Aunque S. P. no mostró una respuesta emocional condicionada según el registro de conductibilidad de la piel, demostró tener intacto el conocimiento declarativo del procedimiento de del miedo condicionado).

Esta doble disociación entre medidas directas (informe explícito) e indirectas (RCP) del aprendizaje emocional indican que hay, al menos, dos tipos de sistemas de aprendizaje que operan de forma independiente; uno (que se basa en el hipocampo) media el aprendizaje que se acompaña de consciencia y es en concreto el sistema de memoria declarativa, descrito detalladamente en el Capítulo 5. El otro (que se basa en la amígdala) se requiere para las respuestas autónomas condicionadas. Los estudios en los que el estímulo relacionado con el suceso aversivo se presenta de forma subliminal, de modo que los sujetos no son conscientes de que se ha presentado, proporcionan un apoyo adicional a la idea de que no se requiere que haya consciencia para que tenga lugar un condicionamiento aversivo. Este procedimiento puede desembocar en la manifestación de un condicionamiento autónomo, apreciado mediante RCP (Ohman y Soares, 1998).

Los estudios del condicionamiento autónomo han puesto de manifiesto la importancia de las respuestas fisiológicas aprendidas. Por otro lado, los estudios de condicionamiento de valoración se ocupan más de las preferencias aprendidas o actitudes, las respuestas subjetivas y emocionales que se adquieren mediante condicionamiento clásico. Conseguir un condicionamiento de valoración es la meta de muchas formas (la mayoría) de los anuncios. ¿Por qué los anunciantes asumen que emparejar nuevos productos con estímulos atractivos, tales como atletas populares o celebridades, modificará nuestras actitudes y, específicamente, nuestras decisiones de compra? En realidad, no creemos que utilizar productos respaldados por una estrella nos conferirá el estrellato. Sin embargo, el anuncio funciona. Funciona porque lo hace el condicionamiento de valoración. Si sentimos un afecto positivo (por ejemplo, admiración por una celebridad que avala el producto o fascinación por un anuncio perspicaz), ante un estímulo neutro (por ejemplo, un desodorante) podemos acabar prefiriendo ese estímulo. El condicionamiento de valoración se manifiesta por un cambio subsiguiente en el valor del estímulo, esto es, el grado en el que éste se considera placentero (o no placentero).

Al igual que el condicionamiento aversivo, el condicionamiento de valoración puede ocurrir sin que haya consciencia de ello (como puede ser el caso de los anuncios). En otras palabras, una preferencia se adquiere y se expresa, pero podemos no ser conscientes de cómo hemos llegado a tener esa preferencia. Por ejemplo, en un estudio los investigadores emparejaron una serie de dibujos neutros con dibujos, bien positivos, bien negativos o bien neutros (Baeyens *et al.,* 1990). A algunos sujetos se les dijo que buscaran una relación entre los miembros de una pareja; a otros sólo se les dijo que mirasen los dibujos. Luego se evaluó la consciencia que tenían los sujetos de la relación entre los dibujos neutros y los emocionales. Se consideró que los sujetos eran «conscientes» si indicaban correctamente qué dibujo emocional se emparejaba con un dibujo neutro «objetivo» (o modelo); si indicaban un dibujo emocional diferente del mismo valor que el que en realidad se emparejaba con el dibujo neutro que servía de objetivo; o si, aunque no fueran capaces de indicar un dibujo en concreto, expresaban correctamente el valor del dibujo emparejado con el dibujo neutro objetivo. Se halló que los niveles de condicionamiento de valoración eran similares, independientemente del nivel de consciencia de los sujetos de la relación.

En concreto, cuando se pidió a los sujetos que puntuaran cuánto les habían gustado los dibujos neutros, aquellos que no habían sido capaces de referir conocimiento alguno de la relación existente entre los dibujos neutros objetivo y sus respectivas parejas manifestaron niveles de preferencias adquiridas similares a los de los sujetos que eran plenamente conscientes de la relación entre los dibujos. Esta elaboración de actitudes puede ocurrir sin que intervenga la consciencia. Además, se obtuvieron resultados coincidentes con esta idea en dos estudios llevados a cabo con sujetos amnésicos, quienes tenían alteraciones de la memoria declarativa. Se demostró que había elaboración de preferencias aun cuando dichos pacientes eran incapaces de referir algún recuerdo de los procedimientos de condicionamiento (Johnson *et al.,* 1985; Lieberman *et al.,* 2001).

Es posible que los dos tipos de condicionamiento clásico emocional —el condicionamiento autónomo y el condicionamiento de valoración— ocurran simultáneamente. Por ejemplo, un estudio prototipo de condicionamiento aversivo podría emparejar una configuración abstracta con una descarga eléctrica moderada. Tras varias presentaciones de tales emparejamientos, la configuración abstracta puede llegar a provocar

una respuesta de *arousal* cuando se presenta sola. Esto es un signo de condicionamiento autónomo. Al mismo tiempo, si se les pidiera a los sujetos que puntuaran cuánto les gusta la configuración abstracta en comparación con otra similar que nunca se hubiera emparejado con una descarga, podrían puntuar la emparejada con la descarga más negativamente, lo que indica un condicionamiento de valoración.

Aunque el condicionamiento autónomo y el de valoración pueden tener lugar simultáneamente, hay algunos indicios de que estos dos tipos de condicionamiento clásico emocional pueden estar disociados. Los indicios proceden de estudios de *extinción*. La **extinción** es la disminución de una respuesta emocional aprendida que se da cuando se presenta un estímulo sin que ocurra el acontecimiento emocional un número suficiente de veces para que el sujeto aprenda que el estímulo neutro condicionado ya no predice que va a suceder el acontecimiento emocional. Retomamos el ejemplo de nuestro desafortunado accidente de automóvil: la primera vez después del accidente que condujimos por el cruce donde éste tuvo lugar, puede que nos sintiéramos nerviosos —esto es una respuesta autónoma condicionada a esa localización concreta—. Sin embargo, varios meses más tarde, después de que hayamos atravesado conduciendo ese cruce un cierto número de veces sin consecuencias, nuestro nerviosismo se puede desvanecer; se ha extinguido. Esto es un ejemplo de extinción de una respuesta autónoma condicionada.

Con procedimientos de condicionamiento autónomo, la extinción por lo general es rápida. Después de unos cuantos ensayos de extinción en los que el acontecimiento neutro ocurre sin que esté presente el aversivo, puede que la respuesta autónoma condicionada ya no se manifieste (véase, por ejemplo, LaBar *et al.,* 1995; Ohman y Soares, 1998). Por otra parte, el condicionamiento de valoración es muy difícil de extinguir. Una vez que se adquiere una preferencia o actitud, dicha preferencia no parece disminuir, aun cuando haya el doble de presentaciones del estímulo previamente neutro sin que ocurra el acontecimiento emocional y el sujeto sea plenamente consciente de que la presentación de dicho estímulo ya no predice el acontecimiento emocional (véase, por ejemplo., De Houwer *et al.,* 2001). Incluso si extinguimos nuestra respuesta autónoma al pasar por la intersección en la que tuvimos el accidente, puede que aún no nos guste ese cruce. Esta resistencia a la extinción respecto al condicionamiento de valoración diferencia las preferencias condicionadas de otros tipos de condicionamiento clásico.

## 4.2. Condicionamiento instrumental: aprendizaje mediante recompensa o castigo

El aprendizaje emocional puede ocurrir cuando ciertas acciones y estímulos se emparejan con recompensa o castigo. Consideremos, por ejemplo, el juego. Para un jugador que apuesta a los caballos, acciones como ir a las carreras y efectuar la apuesta, y estímulos como las páginas de carreras en los periódicos y las previsiones de los dividendos, están emparejadas con la recompensa que tendrá si gana. Aunque el jugador pueda perder (castigo), parte de las razones por las que el juego es tan atractivo para algunas personas es que la emoción y la excitación ante una fortuita gran ganancia son, con frecuencia, más poderosas que las muchas pérdidas más pequeñas que pueden sobrevenir.

Por lo tanto, el gusto por el juego puede surgir de un condicionamiento instrumental. El principio subyacente al **condicionamiento instrumental** (también conocido

como **condicionamiento operante**) es que la frecuencia de una conducta o respuesta aumentará o disminuirá dependiendo del resultado de dicha conducta —de si ésta causa una recompensa o un castigo—. Si hacemos algo que conduce a un buen resultado (recompensa), somos más propensos a repetir esa conducta y si hacemos algo que conduce a un mal resultado (castigo), es menos probable que la repitamos. El condicionamiento instrumental depende de cómo realicemos una acción que puede ser recompensada.

Con el fin de entender la naturaleza de la recompensa, los investigadores han examinado los sistemas neurales en los que se basa el aprendizaje de la recompensa y, en menor grado, los subyacentes al aprendizaje del castigo (véase, por ejemplo, Bornhovd *et al.,* 2002; Delgado *et al.,* 2000). El sistema neural que media la recompensa se ha descrito en términos de un neurotransmisor, la dopamina, que se relaciona con la recompensa, así como de una región neuroanatómica, el cuerpo estriado. La «vía dopaminérgica mesolímbica» une el área tegmental ventral y el haz medial del prosencéfalo, a nivel del mesencéfalo, con el cuerpo estriado, localizado en el prosencéfalo. Esta es la vía que se activa ante la expectativa de una recompensa (véase la Figura 8-8). Si se estimula el área tegmental ventral, la activación de esta vía provoca la liberación de dopamina en el cuerpo estriado (Wise y Rompre, 1989). Los estudios de neuroimagen han demostrado repetidamente que el cuerpo estriado se activa en respuesta a una recompensa que el sujeto percibe como tal (véase, por ejemplo, Delgado *et al.,* 2000; Knutson *et al.,* 2001). Se ha comprobado que las drogas que bloquean la acción de la dopamina afectan negativamente a la ejecución de tareas de aprendizaje en las que se da una recompensa (Stellar y Stellar, 1984).

Uno de los hallazgos más interesantes que surgen de la investigación de la base neural del aprendizaje mediante recompensa es que el sistema neural involucrado res-

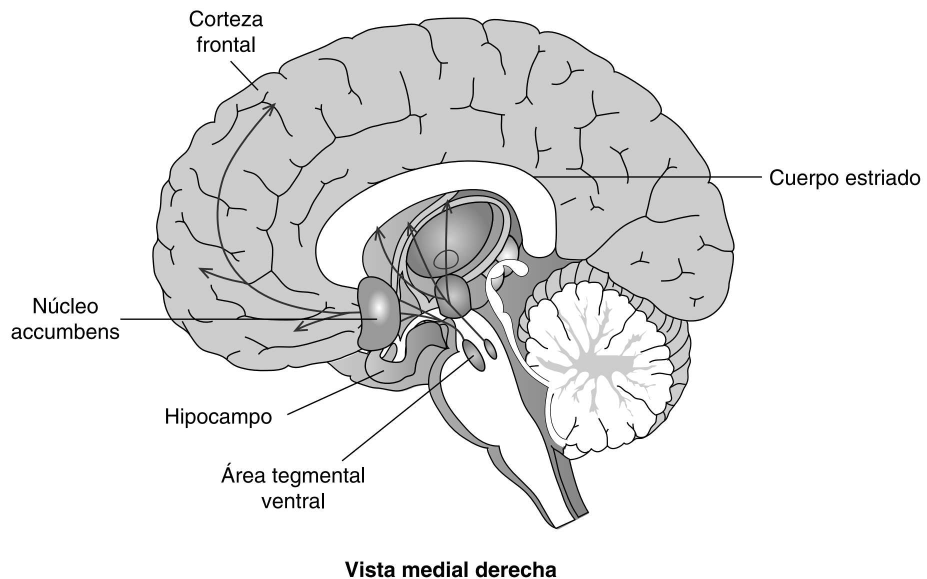



**FIGURA 8-8** Vía dopaminérgica mesolímbica y circuito de recompensa cerebral

Si se estimula el área tegmental ventral, la activación de esta vía lleva a la liberación de dopamina en el cuerpo estriado y otras regiones cerebrales, tales como la corteza frontal. Esta secuencia ocurre ante una recompensa. (Figura 6.19 de *Psychological Science: The Mind, Brain and Behaviour,* por Michael Gazanniga y Todd F. Heatherton, Copyright © 2003 por W. W. Norton and Company, Inc. Reproducido con autorización de W. W. Norton and Company, Inc).

ponde a todo tipo de recompensa, tanto si es una droga dada a un adicto (Breiter *et al.,* 1997), un reforzador primario tal como la comida (Rolls *et al.,* 1980) o un reforzador secundario como el dinero (Delgado *et al.,* 2000; Knutson *et al.,* 2001). El hecho de que la misma vía neural medie la acción tanto de los reforzadores primarios como de los secundarios sugiere que este sistema es importante para codificar el valor de recompensa que se percibe. Sin embargo, lo que resulta ser una recompensa para una persona puede no serlo para otra —y puede que no sea saludable, necesario ni valioso en sí mismo—.

El condicionamiento instrumental requiere una acción que puede ser reforzada. Es esta acción, y el estímulo que la induce, lo que adquiere un valor afectivo. Sin embargo, junto con la acción y el estímulo, el valor afectivo de una serie de otros estímulos asociados se puede alterar asimismo. Un adicto aprende a asociar el consumo de la droga con recompensa. El consumo de drogas también se relaciona con una cantidad de estímulos diferentes: el lugar donde se consume habitualmente, la parafernalia que se utiliza, las demás personas que consumen la droga con el adicto y quien le vende la droga. Todos estos estímulos, sólo por estar asociados con el hecho de tomar la droga, pueden adquirir valor afectivo mediante *condicionamiento clásico*. El condicionamiento clásico y el instrumental pueden ir de la mano en una íntima relación que hace que conductas cambiantes como el tomar drogas sean un desafío.

## 4.3. Aprendizaje mediante instrucción y observación

Tanto el condicionamiento clásico como el instrumental dependen de una experiencia emocional para que tenga lugar el aprendizaje —se ha de recibir un estímulo que se perciba como una recompensa, positiva, o un castigo, negativo—. Hay otros medios para que se dé el aprendizaje emocional que no requieren una experiencia emocional directa sino que dependen de instrucción o de observación. ¿Por qué, por ejemplo, hay personas que tienen miedo de los gérmenes y por qué la mayoría de esas personas intentan evitarlos? Excepto en un centro de investigación o en una institución académica —y para la mayoría de las personas de edad, ni siquiera ahí—, la mayoría de la gente nunca ha visto un germen. Y en lo que concierne a nuestros sentidos perceptivos sin ayuda, los gérmenes son un concepto imaginario. No obstante, hemos oído hablar del valor negativo de los gérmenes (y se nos ha advertido desde la infancia, y se nos advierte con señales en los lavabos, de que nos lavemos las manos para evitarlos). Este es un ejemplo de *aprendizaje mediante instrucción.* (Si la instrucción entraña la amenaza suficiente y no está pulida por la experiencia, la sana prevención de los gérmenes se puede convertir en una insana fobia).

A diferencia de otras especies, podemos aprender acerca del significado emocional de los acontecimientos y de los estímulos mediante medios simbólicos tales como el lenguaje. No es preciso que experimentemos directamente las consecuencias positivas o negativas para saber si el estímulo es bueno o malo. Aprender mediante instrucción es una manera frecuente de aprendizaje emocional en los seres humanos y es muy eficaz. Aprender respuestas emocionales a estímulos neutros que están directamente relacionados con consecuencias aversivas (condicionamiento) es similar a aprender mediante comunicación verbal (instrucción) (Hugdahl y Ohman, 1977).

De hecho, aprender a temer mediante instrucción y mediante condicionamiento clásico activa algunas vías neurales comunes. En particular, la amígdala no sólo tiene una función importante en el condicionamiento aversivo, sino también en la expre-

sión fisiológica del aprendizaje del miedo por instrucción. Este hallazgo deriva de un estudio diseñado para ser lo más parecido posible al estudio del miedo condicionado antes descrito, en el que participó la paciente S. P. La diferencia es que la descarga estaba emparejada con el cuadrado azul únicamente mediante instrucciones verbales. Se les dijo a pacientes con lesión en la amígdala derecha o izquierda, así como a sujetos normales, que podían recibir una débil descarga en la muñeca cuando se presentara un cuadrado azul («amenaza»), pero que nunca recibirían una descarga cuando se presentara un cuadrado amarillo («seguridad»). Aunque, de hecho, ninguno de los pacientes recibió una descarga, tanto los sujetos normales como aquellos pacientes con daño en la amígdala *derecha* tuvieron una respuesta de sobresalto potenciado cuando se les presentó el cuadrado azul, lo que indica una respuesta emocional negativa al estímulo amenazante «cuadrado azul». Los sujetos con lesión en la amígdala *izquierda*, sin embargo, no manifestaron un sobresalto potenciado ante el cuadrado azul (Funayama *et al.,* 2001), lo que indica que la amígdala izquierda interviene en el aprendizaje del miedo mediante instrucciones. Aunque sólo la amígdala izquierda juega un papel en la expresión del miedo por instrucción, quizá debido a la naturaleza verbal del aprendizaje por instrucciones, estos resultados sugieren que la amígdala participa en la expresión de miedos que se imaginan y se anticipan, pero que nunca se han sentido en realidad. Phelps y sus colaboradores (2001) publicaron un informe de un estudio relacionado con lo anterior que utilizó datos de RMf de sujetos normales. Los dos estudios se examinan en el epígrafe siguiente, *Una visión más detenida.*

Al igual que el aprendizaje mediante instrucción, el *aprendizaje mediante observación* no se basa en una experiencia directa con consecuencias positivas o negativas. Si observamos a alguien que está siendo recompensado o castigado por una conducta, o disfrutando o evitando un acontecimiento, podemos aprender algo sobre el valor de esa conducta o ese acontecimiento. Un profesor que «da una lección» a un alumno insolente y le reprende delante de toda la clase, espera que los otros alumnos hallen en ello un aprendizaje por observación.

Algunos animales no humanos pueden también aprender mediante observación. Por ejemplo, los monos criados en un laboratorio en el que no hay serpientes pueden aprender a temerlas observando a monos criados en libertad que tienen un miedo intenso a las serpientes (Mineka *et al.,* 1984) (véase la Figura 8-9). Los sistemas neurales que median el aprendizaje por observación pueden implicar a «neuronas especulares». Las neuronas especulares, que se descubrieron en monos, son neuronas que responden tanto cuando se observa una acción, como cuando se realiza esa acción (véase el Capítulo 11). Las neuronas especulares de la corteza premotora del mono disparan cuando el animal ejecuta una respuesta motora y también cuando ve a otro mono ejecutar esa misma respuesta. En los seres humanos, por lo general no es posible estudiar respuestas en neuronas individuales, pero utilizando técnicas de neuroimagen se han observado respuestas especulares similares a las descritas en monos (Gallese y Goldman, 1998; Rizzolatti *et al.,* 1996). Más aún, los investigadores han descubierto respuestas especulares para la emoción. Cuando se ve que alguien experimenta dolor se produce una activación de partes del circuito del dolor en quién lo observa (Singer *et al.,* 2004). Con el fin de extrapolar este hallazgo al aprendizaje por observación, se pidió a los sujetos de un experimento que viesen un fragmento de película en el que un colaborador del investigador llevaba a cabo un condicionamiento clásico en el cual se emparejaba un cuadrado azul con una débil descarga eléctrica en la muñeca. Posteriormente se les presentó a los sujetos unos cuadrados azules, pero

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

La expresión de miedos que se imaginan

Se consideran conjuntamente dos estudios relacionados que investigaron, en diferentes poblaciones, los mecanismos neurales que subyacen a los miedos imaginarios; ambos se publicaron en el año 2001. Elisabeth A. Phelps, Kevin J. O'Connor, J. Christopher Gatenby, John C. Gores, Christian Grillon y Michael Davis informaron de sus resultados en un artículo titulado «Activación de la amígdala izquierda ante una representación cognitiva de miedo». *Nature Neuroscience, 4*, 437-441; E. Sumie Funayama, Christian Grillon, Michael Davis y Elisabeth A. Phelps publicaron los suyos en «Doble disociación de la modulación afectiva del sobresalto en seres humanos: efectos de la lobulectomía temporal unilateral». *Journal of Cognitive Neuroscience, 13,* 721-729.

**Introducción**

Los miedos que se comunican mediante símbolos y se imaginan ¿se basan en los mismos mecanismos neurales que los miedos adquiridos mediante una experiencia aversiva y directa, como sucede en el miedo condicionado? Ésta era la pregunta que querían responder los dos estudios (Funayama *et al.,* 2001; Phelps *et al.,* 2001).

A los dos grupos de investigadores les interesaba averiguar cómo se representan en el cerebro los miedos comunicados verbalmente y si la expresión de este tipo de aprendizaje emocional depende de la amígdala, la cual se ha comprobado que juega un papel fundamental en el miedo condicionado.

**Método**

Se utilizaron dos técnicas para evaluar el funcionamiento del cerebro humano: la obtención de imágenes por resonancia magnética funcional (RMf) en sujetos normales (Phelps *et al.,* 2001) y las respuestas fisiológicas de pacientes con lesiones en la amígdala (Funayama *et al.,* 2001). En cada uno de los estudios, se les dijo a los sujetos que la aparición de un cuadrado de color (por ejemplo, azul) indicaría la posibilidad de que recibieran una pequeña descarga eléctrica en la muñeca: a éste se le llamó el estímulo de «amenaza». También se les mostró a los sujetos un cuadrado de otro color (por ejemplo, amarillo) y se les dijo que ese estímulo indicaba que no se les aplicaría una descarga: a éste se le denominó el estímulo de «seguridad». En el estudio de RMf, se les presentó a los sujetos normales los estímulos de amenaza y de seguridad mientras se registraban las respuestas de la amígdala. También se registró la respuesta de conductibilidad de la piel (RCP) para obtener un índice fisiológico de la respuesta de miedo. En el estudio con pacientes, participaron en el experimento personas normales que se utilizaron como grupo de referencia y pacientes con lesión en la amígdala izquierda, la amígala derecha y lesión bilateral. El diseño experimental era similar: como medida de aprendizaje de miedo se registraba el sobresalto de parpadeo ante el estímulo de amenaza y el de seguridad. Ni en el estudio con RMf ni en el estudio con pacientes se les aplicó en realidad a los sujetos una descarga.

**Resultados**

Tanto en el estudio con RMf como en el estudio con pacientes, los sujetos normales manifestaron una respuesta fisiológica indicativa de miedo como reacción a la presentación del estímulo de amenaza (comparado con el de seguridad). En las medidas de actividad del sistema nervioso autónomo obtenidas durante el estudio de RMf, los sujetos tuvieron un aumento de la RCP ante el estímulo de «amenaza» en comparación con el de «seguridad». En el estudio con pacientes, los sujetos normales del grupo de referencia mostraron una respuesta refleja de sobresalto potenciado ante la «amenaza» en comparación con la «seguridad». Estos resultados sugieren que sólo el hecho de informar o instruir a alguien acerca del

posible carácter aversivo de un estímulo puede inducir una respuesta de miedo. Tanto en el estudio con RMf como en el estudio con pacientes se halló asimismo que la amígdala izquierda juega un papel importante en la expresión de miedo por instrucción. En el estudio con RMf, se observó activación de la amígdala izquierda en respuesta al estímulo «amenaza» en comparación el estímulo «seguridad»; la intensidad de esta activación se relacionaba con la intensidad de la RCP. En el estudio con pacientes, los que tenían afectada la amígdala izquierda no presentaron sobresalto potenciado ante el estímulo «amenaza».

**Discusión**

Estos resultados sugieren que la amígdala izquierda se activa en caso de miedo inducido por instrucción y juega un papel fundamental en su expresión. La amígdala izquierda puede ser especialmente importante debido a que estos miedos requieren interpretación lingüística, lo cual se sabe que depende del hemisferio izquierdo en la mayoría de las personas. Los modelos animales de los mecanismos neurales implicados en el aprendizaje del miedo se han basado en el miedo condicionado, en el que el aprendizaje se debe a una experiencia aversiva directa. Dichos datos indican que mecanismos neurales similares pueden subyacer a miedos que son exclusivamente humanos —esto es, miedos que se comunican mediante el lenguaje y que se imaginan, pero nunca se experimentan realmente—.

nunca recibieron la descarga. La amígdala, que sabemos que está implicada en el miedo condicionado y en el miedo por instrucción, respondió asimismo cuando los sujetos vieron que el colaborador respondía a la descarga asociada al cuadrado azul. La intensidad de la activación de la amígdala durante la observación fue la misma que cuando se les presentó a los sujetos el cuadrado azul y anticiparon recibir ellos mismos una descarga (Olsson *et al.*, 2004).



**FIGURA 8-9** Un ejemplo de aprendizaje mediante observación

Se hizo que dos grupos de monos alargaran la mano pasando por encima de una serpiente para obtener comida. Los monos criados en laboratorio no manifestaron miedo de las serpientes y llegaron a alcanzar la comida —hasta que vieron a otros monos, criados en libertad, que se resistieron a alcanzar la comida, mostrando miedo de la serpiente. Entonces los monos criados en laboratorio también mostraron miedo de la serpiente y se resistieron a alcanzar la comida.

(Cortesía de Susan Mineka, Northwestern University).

### 4.4. Mera exposición

Todos los tipos de aprendizaje emocional descritos hasta aquí se basan en la relación que se establece entre un estímulo o una acción con algo que es «bueno» o «malo». Cuando se adquiere una preferencia o actitud mediante **mera exposición**, no se precisa una relación; la simple presentación repetida de un estímulo puede hacer que el aprendizaje sea posible. El *efecto de mera exposición* se basa en la familiaridad, y por lo tanto sólo se necesita la presentación (repetida) del estímulo. En un estudio habitual de exposición simple, se les presenta a los sujetos estímulos neutros, tales como patrones abstractos. Algunos patrones se presentan quizá unas 10 veces, otros cinco veces o una, y otros ninguna. Después de proceder a la exposición, se les pide a los sujetos que califiquen cuánto les han gustado estos patrones abstractos. Los sujetos tienden a dar puntuaciones más altas a los patrones que se les han presentado más que a los que se les han presentado menos o no se les han presentado. Se ha observado que los efectos de mera exposición ocurren con un amplia gama de estímulos, incluyendo a ideogramas chinos, melodías y sílabas sin sentido (Zajonc, 1980).

Aunque el efecto de mera exposición se debe a la familiaridad, no requiere recuerdo de una experiencia previa con el estímulo. En un estudio que examinaba las preferencias de melodías musicales innovadoras se encontró que el efecto de mera exposición era igual de fuerte para melodías que el sujeto podía reconocer como presentadas previamente y las que no (Wilson, 1979). Se han observado efectos similares en cuanto a otros tipos de estímulos. El factor que predecía que se estableciera una preferencia de melodías y de otros estímulos era la cantidad de exposiciones previas, no la consciencia de dicha exposición (Zajonc, 1980). La idea de que los efectos de la mera exposición se pueden obtener con independencia de la consciencia se ha fortalecido gracias a estudios que han demostrado efectos de mera exposición referidos a estímulos presentados subliminalmente (Bornstein, 1992). La próxima vez que el lector se encuentre a sí mismo tatareando una canción de la radio, recuerde: cuanto más la escuche, probablemente más le gustará.



#### *Control de comprensión*



1. Descríbase una situación de aprendizaje emocional en la cual haya signos tanto de condicionamiento de valoración como de condicionamiento autónomo.
2. ¿De qué modos se puede aprender que algo guste o disguste incluso cuando no haya tenido lugar un condicionamiento?

## 5 Emoción y memoria declarativa

Día a día tendemos a valernos de nuestra memoria para responder preguntas tales como: «¿Dónde he dejado las llaves?». Pero a lo largo de una vida los recuerdos duraderos no se refieren al bolsillo en el que se dejaron las llaves. Los recuerdos de aquellos acontecimientos que son importantes y emotivos parecen persistir y ser vívidos, a diferencia de otros recuerdos. La memoria de acontecimientos públicos emotivos, como la destrucción del *World Trade Center*, persistirá aunque no sea exacto. Los

recuerdos de acontecimientos emotivos privados, como el del nacimiento de un niño, también pueden estar imbuidos de peculiaridades específicas. ¿Cómo influye exactamente la emoción en la memoria?

Como se vio en el Capítulo 5, uno de los principales avances en la investigación de la memoria durante los últimos cuarenta años ha sido el reconocimiento creciente de que la memoria no es un concepto unitario: las diferentes formas de memoria, consciente e inconsciente, se relacionan con sistemas neurales distintos. La memoria declarativa es una memoria a largo plazo que puede evocarse conscientemente y describirse a otras personas. Ésta incluye la memoria episódica, la memoria de «primera mano» de nuestra historia pasada individual, y la memoria semántica, lo que sabemos acerca de los objetos y los acontecimientos del mundo. Ambas formas de memoria pueden ser influidas por diversos aspectos de la emoción de muchos modos.

## 5.1. *Arousal* y memoria

Desafortunadamente para nuestra paz de espíritu, el recuerdo de situaciones embarazosas puede no desvanecerse. Sería bonito olvidar aquellas ocasiones en las que nuestra ignorancia o nuestra torpeza social quedaron completamente al descubierto. Pero no olvidamos dichos acontecimientos y, a veces, otras personas tampoco. ¿Por qué se eligen para que perduren (y perdurar de una forma vívida) esos momentos en los que nos gustaría que nos tragara la tierra y no otros? Una razón es que el apuro, una reacción emocional, conduce al *arousal,* y el *arousal* mejora nuestra capacidad de almacenar recuerdos.

Es un hecho bien sabido que el *arousal* emocional puede potenciar el recuerdo. Esto se ha demostrado respecto a un cierto número de diferentes tipos de estímulos y a una serie de tareas de memoria, tanto fuera como dentro del laboratorio (Christianson, 1992). En un estudio clásico, Hueur y Reisberg (1992) proyectaron a dos grupos de sujetos una presentación de diapositivas distinta con su comentario correspondiente. En ambas se veía a una madre y su hijo que iban a visitar al padre en su trabajo. Las diapositivas y el comentario al principio y al final de cada presentación eran los mismos y se referían a acontecimientos neutros, tales como la madre y al hijo saliendo de su casa, o la madre llamando por teléfono. En una de las presentaciones, la denominada condición emocional, en la parte central de la historia se veía al padre, un doctor, atendiendo a un grave accidente. En la otra presentación, la llamada condición neutra, el padre era un mecánico de automóviles. Después de ver la sesión de diapositivas, se les pidió a los sujetos que reconocieran detalles de las diapositivas y los comentarios. En ambos grupos, no hubo diferencias en cuanto a la capacidad de recordar detalles del comienzo y el final de la presentación, en las que se veían sucesos de tipo neutro. Los sujetos de la condición emocional, sin embargo, recordaron mucho mejor la parte central, emocional, de la presentación con diapositivas que vieron, en comparación con los sujetos de la condición neutra, que habían visto una parte central que no tenía carga emocional.

Se ha comprobado que la memoria declarativa es mejor para los estímulos emocionales, activadores. ¿Cómo ocurre esto? Para entender cómo sucede, podemos fijarnos en el mecanismo neural que subyace a la influencia de la activación emocional en la memoria.

Un cierto número de estudios han comprobado que la amígdala, que juega un papel decisivo en la adquisición y manifestación del condicionamiento aversivo, tiene

también un papel secundario en la memoria. Los pacientes con lesión de la amígdala no muestran un refuerzo de la memoria debido a la activación (Cahill *et al.,* 1995; LaBar y Phelps, 1998). Los estudios de neuroimagen revelan una relación entre la fuerza de la respuesta de la amígdala en la codificación de un estímulo emocional y la posibilidad de recordar satisfactoriamente ese estímulo más tarde (Cahill *et al.,* 1996; Hamman *et al.,* 1999). Estos resultados sugieren que la amígdala puede influir en la memoria declarativa de acontecimientos emocionales. Pero es en las vecinas estructuras mediales de los lóbulos temporales, dentro y alrededor del hipocampo, donde reside la capacidad de adquirir memoria declarativa: la amígdala ejerce su influencia interactuando con el hipocampo.

La consolidación hipocámpica es un lento proceso mediante el cual las memorias se hacen más o menos estables con el tiempo. Una serie de estudios ha demostrado cómo la amígdala, gracias al *arousal,* puede influir en el procesamiento hipocámpico de la información, modulando la consolidación de las memorias que dependen del hipocampo (McGaugh, 2000). Reforzando la consolidación hipocámpica con *arousal*, la amígdala modifica el almacenamiento de nueva información en la memoria (McGaugh *et al.,* 1992).

Para demostrar que la amígdala modula el almacenamiento, los investigadores han perturbado o mejorado en ratas el procesamiento de la información en la amígdala *después* de la codificación de la memoria. En uno de estos estudios, se sometió a las ratas a una tarea de aprendizaje de laberinto, lo cual depende del hipocampo en condiciones normales de aprendizaje. Inmediatamente después del aprendizaje, se les suministró a algunas ratas un fármaco que induce una respuesta de excitación en la amígdala; a las otras ratas se les inyectó una solución salina (inactiva). Las ratas cuya amígdala se había excitado artificialmente tras el aprendizaje demostraron tener mejor memoria del laberinto que las que habían recibido la inyección salina (Packard y Teather, 1998). El mecanismo por el cual la amígdala modula la consolidación se basa en la activación del *sistema adrenérgico-β* de la amígdala. Los *betabloqueantes* (drogas que bloquean la acción del sistema adrenérgico *β* al bloquear los receptores adrenérgicos *β*) también bloquean el efecto del *arousal* sobre la memoria declarativa (Cahill *et al.,* 1994; McGaugh *et al.,* 1992). Se ha sugerido que una de las funciones adaptativas de tener un largo proceso de consolidación del almacenamiento de las memorias declarativas, es permitir que haya tiempo suficiente para que la respuesta de *arousal* mejore la retención de acontecimientos relacionados con consecuencias emocionales.

Si el *arousal* o activación, a través de la amígdala, modula el almacenamiento de las memorias declarativas, debería haber diferentes curvas de olvido para estímulos activadores y no activadores. Esto se ha demostrado en diversos estudios. En un experimento preliminar, se les presentó a los sujetos pares de palabras y dígitos (Kleinsmith y Kaplan, 1963). La mitad de las palabras eran emocionales y activadoras, la otra mitad eran neutras. Luego se les presentó a los sujetos tan solo la palabra y se les pidió que recordasen el dígito con el que estaba emparejada. Algunos sujetos realizaron esta tarea de memoria inmediatamente después de la codificación, otros un día después. Los sujetos a los que se les había pedido que recordaran los dígitos inmediatamente después de la prueba tuvieron una memoria algo mejor de los dígitos emparejados con palabras neutras, aunque la diferencia no fue significativa. Los sujetos examinados al día siguiente mostraron una memoria significativamente mejor de los dígitos emparejados con palabras con alta carga de activación. Al comparar los gru-

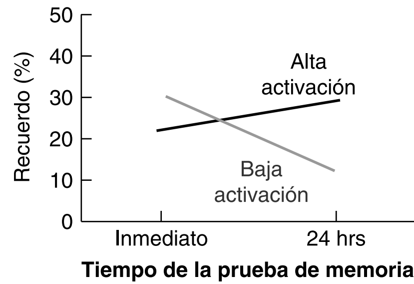



**FIGURA 8-10** Memoria y activación. I

Se evaluó inmediatamente después de la codificación y 24 horas más tarde el recuerdo de dígitos emparejados con palabras que producen alto y bajo nivel de activación. Los dígitos emparejados con palabras de bajo nivel de activación se olvidaron con el tiempo, mientras que los dígitos emparejados con palabras alto nivel de activación, no. (Adaptado de Kleinsmith, L. J. y Kaplan, S, (1963). Paired-associated learning as a function of arousal and interpolated interval. *Journal of Experimental Psychology, 65* (2) 190-193. © 1963 American Psychological Association. Adaptado con autorización).

pos, se observaron signos indicativos de olvido con el tiempo de los pares palabra y dígito neutros, mientras que la memoria de los pares palabra y dígito activadores no decayó con el paso del tiempo (véase la Figura 8-10). En consonancia con la idea de que la amígdala mejora los procesos de consolidación o almacenamiento, en los pacientes con lesión de la amígdala se observa una pauta de olvido similar respecto a las palabras activadoras y las neutras (LaBar y Phelps, 1998).

## 5.2. Estrés y memoria

El efecto del *arousal* sobre el almacenamiento de la memoria puede ayudar a explicar por qué aquellos acontecimientos que son más apasionantes, embarazosos o desesperantes pueden recibir un tratamiento preferente en la memoria. Sin embargo, el estrés prolongado y el *arousal* extremado pueden tener el efecto opuesto, perjudicando al rendimiento en tareas de memoria. El efecto del *arousal* y del estrés en la memoria declarativa se puede caracterizar mediante una curva con forma de U invertida (véase la Figura 8-11). Un *arousal* leve o moderado mejora el rendimiento en memoria, pero si la respuesta de *arousal* es prolongada o extremada, el rendimiento en memoria resulta afectado.

El mecanismo que subyace a este deterioro de la memoria inducido por el estrés está relacionado con los cambios hormonales que provoca el estrés a largo plazo. Los glucocorticoides, un grupo de hormonas del estrés que libera la glándula suprarrenal, son los principales responsables. En estudios realizados con ratas, los investigadores han demostrado que una exposición al estrés prolongada conduce a un aumento del nivel de glucocorticoides que puede reducir la frecuencia de disparo de las neuronas hipocámpicas, perjudicar el rendimiento en memoria y, si la exposición es lo suficientemente larga, desembocar en atrofia hipocámpica (McEwen y Spolsky, 1995). En el hipocampo hay dos tipos de receptores de glucocorticoides, que se ven afectados por diferentes niveles de exposición a los glucocorticoides. La existencia de estos dos tipos de receptores puede ayudar explicar por qué diferentes niveles de exposición al *arousal* y a las hormonas del estrés conducen, o bien a una mejora, o bien a un deterioro de la memoria.

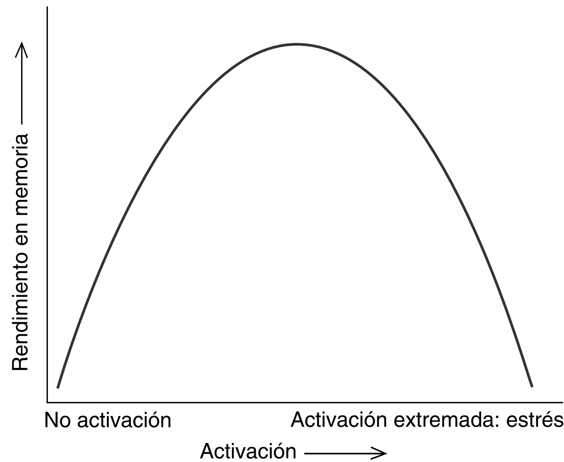



**FIGURA 8-11** Memoria y activación. II

Una curva con forma de U invertida representa la relación existente entre el rendimiento en memoria declarativa y el nivel de activación. Una activación media o moderada beneficia la memoria, pero el estrés —esto es, una activación prolongada y extremada— la perjudica.

Las investigaciones que han examinado el efecto del estrés sobre la memoria humana son escasas: la ética de la investigación psicológica impide inducir en los seres humanos el nivel de estrés necesario para perjudicar el rendimiento en memoria. No obstante, hay algunos datos indicativos de que los pacientes que sufren trastornos inducidos por el estrés, tales como depresión o un trastorno por estrés postraumático, tienen afectada la memoria y de que los pacientes que padecen estos trastornos durante un cierto número de años tienen signos de atrofia hipocámpica (Bremner, 2002; Nasrallah *et al.*, 1989).

Aunque es difícil comprobar los efectos del estrés sobre la memoria humana en un estudio controlado de laboratorio, se ha podido demostrar en seres humanos la influencia de los glucocorticoides observada en ratas. Por ejemplo, en un estudio se suministró diariamente a los sujetos o bien un fármaco que aumenta artificialmente el nivel de glucocorticoides, o bien un placebo. Después de cuatro días, los sujetos que habían tomado la droga y que tenían un nivel de glucocorticoides elevado manifestaron una disminución del rendimiento en memoria en comparación con los pacientes que habían tomado el placebo (Newcomer *et al.*, 1994). Estos resultados apoyan la conclusión de que las hormonas del estrés pueden perjudicar la memoria si la exposición es prolongada.

## 5.3. Estado de ánimo y memoria

El estado de ánimo refleja un estado afectivo duradero y difuso que no se relaciona necesariamente con un acontecimiento concreto. ¿Se ha dado cuenta el lector de que cuando se tiene un estado de ánimo negativo, es más probable que se recuerden acontecimientos negativos y desafortunados, mientras que cuando se tiene un estado de ánimo positivo vienen más fácilmente a la mente pensamientos agradables? Esta experiencia habitual refleja una influencia del estado de ánimo en la memoria, lo cual se conoce como **efecto de memoria congruente con el estado de ánimo** (Bower, 1981).

La inducción del estado de ánimo —el intento deliberado de cambiar el estado de ánimo de un sujeto— se utiliza para evaluar el efecto de memoria congruente con el estado de ánimo. En un estudio representativo, se les pide en primer lugar a los sujetos que contesten a un cuestionario sobre el estado de ánimo en el que se les requiere que puntúen cuán contentos, tristes, positivos o negativos se sienten en ese momento. Un procedimiento de inducción del estado de ánimo es el siguiente: por ejemplo, se les puede proyectar a los sujetos una película y decirles que intenten sentir el estado de ánimo que la película al parecer pretende evocar. Luego se les aplica un segundo cuestionario para determinar si se ha logrado inducir ese estado de ánimo. Después de que se haya logrado, se les presenta a los sujetos estímulos a recordar, tales como palabras positivas (por ejemplo, *humor*), palabras neutras (por ejemplo, *ropa*) o palabras negativas (por ejemplo, *fallo*). Posteriormente se evalúa el recuerdo de las palabras, por lo general mediante recuerdo libre (esto es, no se les dan pistas o señales a los sujetos sino que sólo se les dice que recuerden tantas palabras como les sea posible). Se les aplica el cuestionario de estado de ánimo por tercera vez para asegurarse de que el estado de ánimo inducido persiste durante el tiempo que dura la prueba. Si esto es así, los sujetos recordarán mejor las palabras cuyo valor sea congruente con el estado de ánimo (por ejemplo, recordarán más palabras positivas cuando están en un estado de ánimo positivo) que palabras cuyo valor sea incongruente con el estado de ánimo (por ejemplo, recordarán menos palabras negativas cuando se hallan en un estado de ánimo positivo).

No siempre se aprecian los efectos de memoria congruentes con el estado de ánimo. Por ejemplo, es menos probable que las pruebas de memoria de reconocimiento («¿Ha visto antes esta palabra?») tengan efectos de memoria congruentes con el estado de ánimo a que lo tengan las pruebas de recuerdo («¿Cuál es la palabra que acaba de ver?») (Bower y Cohen, 1982). Además, aunque se han encontrado efectos de memoria congruentes con el estado de ánimo tanto para estados de ánimo positivos como negativos, son más fuertes para los positivos. Esto podría reflejar una tendencia hacia una actividad más creativa y productiva cuando se tiene un estado de ánimo positivo (Fiedler *et al.,* 2001).

Se pueden observar efectos de memoria congruentes con estado de ánimo cuando ocurre codificación de memoria antes o después de la inducción del estado de ánimo. Por lo tanto, el efecto de memoria congruente con el estado de ánimo proviene de la alteración de la fase de recuperación, más que de la de codificación o la de almacenamiento, de la memoria. Se han propuesto dos hipótesis para explicar la influencia de estado de ánimo en la recuperación de las memorias. La primera sugiere que el estado de ánimo origina una preferencia o sesgo de la respuesta: se puede acceder por igual a las representaciones de memoria de los estímulos congruentes y los incongruentes con el estado de ánimo, pero los sujetos tienden a responder a los estímulos congruentes con el estado de ánimo (Schwarz y Clore, 1988). La segunda hipótesis propone que el estado de ánimo en el que se esté cambia la accesibilidad de la representación de memoria durante la recuperación, de modo que un estado de ánimo dado conduce a una mayor activación de las memorias de los estímulos cuyo valor coincide con dicho estado de ánimo. Es por esto por lo que los recuerdos de estímulos acordes con el estado de ánimo se recuperan más fácilmente (Bower, 1981). Ya que la mayoría de las pruebas de memoria emplean recuerdo libre, es difícil distinguir entre un sesgo o preferencia a responder con estímulos congruentes con el estado de ánimo y un cambio en la accesibilidad de recuperación de dichos estímulos. No obstante, en un perspicaz

estudio que utilizó una prueba de memoria de reconocimiento modificada, los investigadores pudieron demostrar que el mecanismo principal mediante el cual el estado de ánimo altera la memoria es la mayor accesibilidad de los recuerdos congruentes con el estado de ánimo (Fielder *et al.,* 2001). En otras palabras, el estado de ánimo puede, de hecho, determinar qué recuerdos están más disponibles para una recuperación explícita en un momento dado.

## 5.4. Memoria de acontecimientos públicos emotivos

No hay mucho más que se pueda hacer para manipular la emoción de un modo controlado y éticamente responsable. Puesto que, en consecuencia, las reacciones emocionales estudiadas en el laboratorio son moderadas y están restringidas, algunos investigadores han preferido estudiar la emoción y la memoria en «experimentos naturales». Un área que se ha investigado así dada su importancia fisiológica, histórica y cultural es la memoria de los acontecimientos públicos emotivos. Aunque estos estudios no pueden ser, con diferencia, tan controlados o detallados como lo es la investigación en laboratorio, nos proporcionan sin embargo una ventana a través de la cual podemos obtener otra perspectiva de la relación que existe entre la memoria y la emoción en seres humanos.

Uno de los primeros acontecimientos públicos emotivos estudiados por los psicólogos fue el asesinato del presidente John F. Kennedy en 1963. Este acontecimiento conmocionó a la nación norteamericana y las reacciones que provocó fueron marcadamente emocionales. Dos psicólogos, Roger Brown y James Kulik (1977), estudiaron los aspectos cualitativos del recuerdo de este acontecimiento, pidiendo a la gente que recordara detalles secundarios de cómo vivieron aquel suceso, como por ejemplo dónde se encontraban y con quién estaban cuando escucharon la noticia. Muchos de los entrevistados tuvieron un recuerdo detallado y creían que su memoria era sumamente precisa, casi como una fotografía que hubiera registrado todos los aspectos de la escena. Brown y Kulik introdujeron el término ***flash* de memoria** para describir el recuerdo de acontecimientos sorprendentes y trascendentales. El término refleja la naturaleza vívida y detallada de los recuerdos que se relatan. Brown y Kulik sugirieron que existen mecanismos especiales para que se forme la huella de memoria de acontecimientos muy relevantes y que éstos inducen una respuesta «de impresión» del sistema de memoria, lo que asegura que la memoria se mantenga exacta y no se dé olvido.

Ese innovador estudio puso de relieve la naturaleza cualitativa de la memoria de acontecimientos públicos emotivos y pareció implicar que dicha memoria es diferente y más detallada que otros tipos de memoria declarativa. Pero el estudio no parecía interesarse particularmente en evaluar la exactitud del *flash* de memoria, lo que no se realizó hasta más de una década después del asesinato. Pese a confiar en los entrevistados, la fidelidad de los *flash* de memoria se ha cuestionado. Desde el estudio inicial se han realizado investigaciones de una cierta cantidad de acontecimientos públicos emotivos en varias partes del mundo, incluyendo el atentado de 1981 del presidente Ronald Reagan (Pillemer, 1984), la catástrofe de la lanzadera espacial *Challenger* (Neisser *et al.,* 1996), el asesinato del primer ministro sueco Olaf Palme (Christianson, 1989), el terremoto de Loma Prieta en California (Neisser *et al.,* 1996), el desastre del partido de fútbol en Hillsborough, Inglaterra (Wright, 1993), la dimisión de la primera ministra británica Margaret Thatcher (Conway *et al.,* 1994) y la muerte del

rey Balduino de Bélgica (Finkenauer *et al.,* 1998). También se han publicado estudios que han examinado los recuerdos del ataque al *World Trade Center* de Nueva York en 2001 (Begley, 2002; Talaricho y Rubin, 2003). Tomados en conjunto, estos estudios indican que aunque la memoria de los acontecimientos públicos emotivos puede ser más exacta que la mayoría de las memorias de sucesos corrientes, no tienen el carácter de exactitud fotográfica que implica el término *flash de memoria* —a pesar de la confianza que merecen los entrevistados—.

En uno de los primeros estudios que demostraron la existencia de errores y distorsiones significativos en los recuerdos de acontecimientos públicos emotivos se examinó el recuerdo de la explosión del *Challenger* en 1986 (Neisser *et al.,* 1992). Unos días después del acontecimiento se les pidió a unos alumnos que recordaran lo que sabían y lo que habían oído sobre ello. Tres años más tarde se les pidió que volvieran a recordar el mismo acontecimiento. Al comparar los recuerdos iniciales y los posteriores, los investigadores encontraron diferencias significativas entre ellos. Por ejemplo, unos pocos días después de la explosión casi todos los entrevistados dijeron que se habían enterado de la noticia por alguien, antes de haber visto los programas informativos de televisión. Sin embargo, pocos años después, casi todos los entrevistados afirmaban que estaban viendo el vuelo del *Challenger* en la televisión y vieron la explosión cuando ocurrió. Pese a las distorsiones de la mayoría de estos segundos informes, todos los entrevistados estaban completamente seguros de la veracidad de sus recuerdos. Recientemente se han comunicado resultados similares respecto a recuerdos del ataque terrorista del 11 de septiembre (Talaricho y Rubín, 2003). Parecería que el carácter conmovedor de estos acontecimientos anulara cualquier duda.

En un estudio diseñado para descubrir los factores que pueden relacionarse con la exactitud y la certidumbre de los recuerdos de acontecimientos públicos emotivos, los investigadores examinaron el recuerdo del veredicto del juicio por asesinato de O. J. Simpson en 1995, un acontecimiento «caliente» política y socialmente para muchas personas (Shmolck *et al.,* 2000). Poco más de un año después del veredicto, los entrevistados tenían aún recuerdos bastante precisos de los detalles personales que rodearon el acontecimiento (dónde estaban y con quién). Pero después de tres años se apreció que en los recuerdos de muchos de ellos había distorsiones significativas. Al igual que en el estudio del *Challenger*, todos los entrevistados, incluyendo aquellos cuyo recuerdos eran erróneos, dieron cuenta detallada de su experiencia y confiaban en su exactitud. En el estudio del veredicto de Simpson, el único factor que resultó tener valor de predicción de una mayor exactitud después de tres años fue el nivel de implicación emocional del entrevistado en el momento del veredicto. Los que refirieron niveles más altos de *arousal* emocional ante el veredicto tuvieron unos recuerdos más precisos del acontecimiento cuando se les preguntó tres años después. Estos resultados concuerdan con la idea de que los niveles más elevados de *arousal* (al menos, hasta cierto punto) pueden ayudan a evitar algunas distorsiones de la memoria.

Aunque la memoria de los acontecimientos públicos emotivos con frecuencia es inexacta en el detalle, es, sin embargo, duradera y apremiante. Los entrevistados en el estudio del *Challenger* recordaban que el acontecimiento había ocurrido; sus equivocaciones tenían que ver con su propia conexión con el hecho. Del mismo modo, aunque mucha gente está segura de que el 11 de septiembre de 2001 vieron en la televisión imágenes de dos aviones estrellándose contra las torres del *World Trade Center* (Pedzek, 2003), no pudieron hacerlo: no hubo un vídeo disponible del choque del primer avión hasta el día siguiente. (Un minuto de reflexión nos sugerirá el porqué: nin-

guna emisora de televisión u otro medio de comunicación estaba filmando los edificios aquella mañana antes del primer ataque —no había razón para hacerlo—. El vídeo del primer avión provino de otra fuente y poder disponer de él llevó cierto tiempo). Vemos otra vez que la gente obviamente recuerda lo que ocurrió, pero ha olvidado detalles relativos a su relación con el acontecimiento. Sin embargo, imágenes de acontecimientos públicos emotivos que se han convertido en iconos —John F. Kennedy sonriendo en el coche descapotable momentos antes de recibir los disparos, el arco sobrecogedor del *Challenger* averiado contra el cielo azul, la imagen de las oleadas de humo procedentes del *World Trade Center* (véase la Figura 8- 12)— han dejado una impresión duradera.

Se están llevando a cabo algunos estudios a gran escala para examinar la memoria del desastre del *World Trade Center* (Begley, 2002). Tales estudios deberían contribuir a aclarar si, como propusieron Brown y Kulik (1977), existen mecanismos especiales para que se formen memorias de los eventos públicos emotivos o, como sugieren los resultados sobre el veredicto de Simpson, estas memorias proceden de mecanismos de memoria usuales, que probablemente interactúen con el *arousal*. Está claro que los avances recientes en nuestro conocimiento de la influencia de la emoción en la memoria nos ayudarán a interpretar los resultados de estos estudios a la luz tanto de los mecanismos cognitivos como de los neurales.

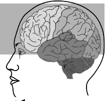


**FIGURA 8-12** Un acontecimiento público emotivo

La destrucción del *World Trade Center* en Nueva York el 11 de septiembre de 2001.
(Fotografía de Chris Collins. Cortesía de Corbis/Stock/Market.)



*Control de comprensión*



1. Al referirse al impacto de la emoción en la memoria, ¿qué es lo que describe una curva con forma de U invertida?
2. ¿Qué datos apoyan la idea de que el estado de ánimo puede influir en la memoria?

# 6 Emoción, atención y percepción

Los acontecimientos emocionales distraen —pese a nuestra opinión, sólo unos momentos antes, de los conductores delante de nosotros que entorpecían el tráfico para mirar el accidente—, el choque de automóviles captó nuestra atención y nos indujo a disminuir la marcha y mirar antes de volver a concentrarnos en la carretera. En algunas circunstancias, un estímulo emocional puede abrirse paso hasta llegar a la consciencia. Podemos tener un cierto éxito centrando la conversación en torno a nosotros en una fiesta, hasta que alguien saca a relucir un tema o una palabra cargados de emoción.

La emoción puede influir en la atención y el procesamiento perceptivo de diferentes modos. La mayoría de los estudios que han examinado la influencia de la emoción en la atención o en la percepción han encontrado efectos de los estímulos negativos, activadores o relacionados con amenazas —a menudo combinados—. Se ha sugerido que dichos estímulos, debido a su posible importancia para la supervivencia, podrían ser prioritarios en la atención y la percepción (LeDoux, 1996; Ohman *et al.*, 2001a; Whalen, 1998).

## 6.1. Emoción y captar la atención

La emoción capta nuestra atención y hace difícil responder a estímulos no emocionales. Esto se demostró en una versión emocional de la tarea de Stroop, una prueba clásica de atención (véase el Capítulo 7). Al igual que en la versión original, se les presenta a los sujetos palabras impresas en diferentes colores y se les pide que indiquen el color en que están impresas, haciendo caso omiso de las palabras. Sin embargo, en esta versión modificada las palabras no son los nombres de los colores, sino palabras con carga emocional (por ejemplo, *violación, cáncer*) o palabras neutras (por ejemplo, *silla, guardar*). Cuando las palabras son emocionales, los sujetos encuentran que es más difícil ignorar las palabras y decir el nombre del color en que están impresas (Pratto y John, 1991). Este efecto se puede acentuar en el caso de estímulos que tienen una importancia especial para una persona determinada, como la palabra *serpiente* para alguien con fobia a los ofidios (Williams *et al.*, 1996).

Intentando determinar el mecanismo concreto que subyace al hecho de que la emoción capte la atención, los investigadores (Fox *et al.*, 2001) han empleado la técnica de señalización exógena desarrollada por Posner (1980; véase el Capítulo 3). Los investigadores plantearon que la emoción podría captar la atención mediante uno de dos mecanismos: podría o bien *atraer* la atención, o bien *mantener* la atención. Se les pidió a los sujetos que respondieran tan pronto como pudieran cuando apareciera un

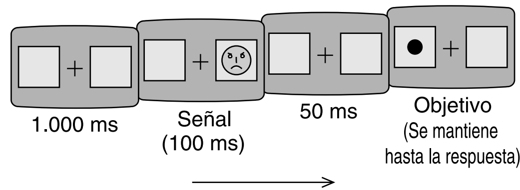



**FIGURA 8-13** La emoción mantiene la atención

Cuando, al igual que aquí, una señal no es válida —no predice la ubicación del objetivo—, los sujetos tardan más tiempo en responder si esa señal es emocional (aquí, una cara de enfado) que si es neutra. La atención está siendo mantenida por la emoción

(Fox, E., Russo, R., Bowles, R. y Dutton, K. (2001). Do threatening stimuli draw or hold attention in visual attention in subclinical anxiety? *Journal of Experimental Psychology: General, 130*, 681-700. © 2001 American Psychological Association. Reimpreso con autorización).

punto, ya fuera a la derecha o a la izquierda del punto de fijación, y que lo indicaran presionando un botón situado en el lado de la pantalla correspondiente al lado en el que había aparecido el punto. La ubicación de este punto de prueba estaba señalizada mediante un estímulo que se presentaba en la misma posición 150 milisegundos antes de que apareciera el punto. La mayoría de las veces, la señal predecía a la correcta ubicación del punto, pero a veces predecía una localización incorrecta. Como señales, los investigadores emplearon palabras emocionales y palabras neutras así como caras para diferenciar dos componentes de la atención (véase la Figura 8-13).

Los investigadores argumentaron que si la emoción puede favorecer que la atención se oriente de manera automática o se cambie a la posición de la señal, entonces los sujetos deberían responder más rápidamente a señales emotivas válidas que a señales neutras válidas. Esta pauta de rendimiento apoyaría la interpretación de que la emoción *atrae* la atención. No obstante, si la emoción dificulta retirar o liberar la atención de la señal inapropiada, entonces los sujetos deberían tener un rendimiento similar en el caso de señales emocionales y neutras válidas, pero responderían más lentamente a señales emocionales no válidas que a señales neutras no válidas. En otras palabras, los sujetos deberían necesitar el mismo tiempo para cambiar la atención tanto a señales emocionales como neutras, pero les llevaría más tiempo dejar de mirar a una señal emocional y cambiar la atención a otro lugar con el fin de responder en los ensayos con una señal no válida. Esta pauta concordaría con la idea de que la emoción *mantiene* la atención y haría difícil liberarse de un estímulo emocional. Los hallazgos apoyaron la idea de que la emoción mantiene la atención: el principal efecto de la señal de emoción fue hacer más difícil responder cuando la señal era no válida. Estos resultados señalan que el hecho de que la emoción capte la atención hace que sea difícil desligarse con el fin de centrarse en los aspectos no emocionales de la tarea que se tiene entre manos.

## 6.2. Facilitación de la atención y la percepción

La emoción puede captar la atención y perjudicar la ejecución de una tarea; y, como veremos en este apartado, también puede facilitar el procesamiento de la atención. ¿Cómo es que la atención puede tanto perjudicar (o «captar» [«apropiarse de»]) como mejorar (o «facilitar») la atención? El efecto de la emoción en la atención depende de los requerimientos específicos de la tarea. En los estudios que hemos revisado

hasta ahora, la consecución de la tarea requería que los sujetos se centraran en ella y procesaran los aspectos no emocionales de dicha tarea; en la tarea emocional de Stroop, por ejemplo, se les pide a los sujetos que ignoren el contenido de las palabras y procesen el color. Las tareas de atención cuya ejecución está facilitada por la emoción, por lo general requieren que los sujetos procesen o respondan a estímulos que son emocionales por sí mismos o que procesen o respondan a un estímulo que está señalizado emocionalmente.

«Encontrar una cara en la multitud» es un ejemplo de una tarea cuya realización está favorecida por la emoción (Hansen y Hansen, 1988; Ohman *et al.,* 2001b). Esta es una tarea de búsqueda visual en la cual los sujetos han de localizar un estímulo «objetivo» entre elementos de distracción tan rápido como les sea posible. En esta variante, los objetivos son o bien caras neutras, o bien caras con expresiones emocionales, tales como enfado o alegría. Cuando las caras objetivo muestran enfado, los sujetos precisan menos tiempo para encontrar el objetivo que cuando las caras objetivo son neutras o alegres. Se han observado resultados similares con otros estímulos negativos, como pueden ser dibujos de arañas y serpientes entre otros estímulos naturales (Ohman *et al.,* 2001a). Éste es un efecto de «valor asimétrico»: la facilitación es evidente para los estímulos negativos pero no para los positivos.

Además, una serie de estudios han demostrado que el tiempo necesario para detectar un estímulo negativo no está influido por factores tales como el número de elementos de distracción (Ohman *et al.,* 2001a; 2001b). Estos resultados recuerdan otros hallazgos en tareas de búsqueda con atención en las cuales ciertas características visuales «saltan», de modo que identificar estos estímulos objetivo entre un grupo de elementos de distracción resulta relativamente sencillo y no requiere examinar cada estímulo presente en el panel de exhibición (véase el Capítulo 2). Se ha sugerido que las características visuales que saltan durante las tareas de búsqueda son más elementales y pueden procesarse con mayor facilidad, sin necesidad de atención (Treisman y Souther, 1985). Basándose en esto, se ha propuesto que las caras negativas (y otros estímulos emocionales naturales) tienen prioridad en el procesamiento y que el hecho de que se detecten más fácilmente en tareas de búsqueda visual se debe a un mecanismo que opera sin requerir atención (Ohman *et al.,* 2001a).

Se piensa que el «efecto de la cara en la multitud» se debe a un aumento del procesamiento inicial de las caras emocionales (Ohman *et al.,* 2001a). Los estudios de neuroimagen indican que la amígdala interviene en este procesamiento inicial de las caras emocionales. Los investigadores han demostrado que la amígdala se activa enérgicamente frente a expresiones faciales de temor en comparación con expresiones neutras y que esto ocurre incluso cuando las caras se presentan tan rápidamente que los sujetos no son conscientes de la presentación (Whalen *et al.,* 1998). Además, en una serie de estudios se ha encontrado que manipular la atención no influye en la respuesta de la amígdala a las «caras de miedo» (expresiones de miedo en otras personas) (A. K. Anderson *et al.,* 2003; Vuillemeier *et al.,* 2002; Williams *et al.,* 2004). En la mayoría de los casos, la respuesta de la amígdala ante expresiones de temor es similar ya sea que se detecten o sean el foco de atención conscientemente o no (para analizar más este tema, véase el epígrafe *Debate*). Estos resultados concuerdan con la idea de que el contenido emocional de las caras se procesa antes de que se despliegue la atención.

Otro estudio orientado a determinar si la amígdala modula la facilitación de la atención a través de la emoción, se valió del fenómeno conocido como *parpadeo de*

DEBATE

## ¿La amenaza se detecta automáticamente?

La *hipótesis de la primacía afectiva*, que fue planteada inicialmente por Wundt (1907) y luego modificada por Zajonc (1984), propone que el procesamiento de los estímulos emocionales no depende de un número limitado de recursos cognitivos. Zajonc argumentó que la detección de la relevancia emocional ocurre antes, e independientemente, de la consciencia y la apreciación. Se considera que los estímulos que pueden procesarse sin tener en cuenta los recursos de atención y obligatoriamente —esto es, su procesamiento no se puede «desactivar»— cumplen los criterios de *automatismo* (véase el Capítulo 7). El automatismo es una característica de muchas funciones perceptivas: no podemos contribuir a detectar los contornos, objetos y escenas que vemos. La lectura es una capacidad que llega a ser automática: una vez que uno tiene experiencia en leer, no es posible ver una cadena de letras y no percibir la palabra que forman.

Hay datos neurocientíficos a favor de que sistemas cerebrales especializados pueden asegurar que ciertos estímulos emocionales, específicamente aquellos que indican amenaza, se procesan de forma automática. Las razones evolutivas de esto son claras: incluso si la amenaza es falsa, sin duda es mejor estar a salvo que arrepentirse si la posible consecuencia es un daño físico o la muerte. Las pruebas de que puede haber mecanismos neurales específicos para detectar una amenaza provienen, en parte, de las investigaciones sobre el condicionamiento clásico del miedo en ratas. Estas investigaciones demuestran que existen dos vías por las que la información relativa al significado emocional de un estímulo condicionado puede llegar a la amígdala (LeDoux, 1996). La vía cortical permite que el estímulo pase por todas las etapas de la percepción normal antes de alcanzar la amígdala; la vía subcortical se salta alguna de las etapas perceptivas y permite que la amígdala haga una evaluación inicial, poco elaborada, del significado emocional de un estímulo. Se ha sugerido que esta vía subcortical proporciona un sistema de alarma temprana en presencia de un peligro potencial (LeDoux, 1996).

Existen claras diferencias en cuanto a la complejidad y gama de experiencias afectivas entre las diversas especies; sin embargo, respecto al miedo en particular, parece haber una superposición considerable en las especies de las respuestas básicas de «lucha o huida» y sus circuitos neurales correspondientes (Davis y Whalen, 2001; LeDoux, 1996). En una serie de estudios de neuroimagen en seres humanos se ha demostrado que el procesamiento en la amígdala de caras que expresan miedo sigue los principios de automatismo: el procesamiento no considera el foco de atención (A. K. Anderson *et al.,* 2003; Vuilleuimier *et al.,* 2004) ni la consciencia (Whalen *et al.,* 1998), y parece ser obligatorio ante un estímulo de miedo (A. K. Anderson *et al.,* 2003; Williams *et al.,* 2004). Aunque estos hallazgos no implican necesariamente que exista una vía subcortical para la percepción, los estudios de neuroimagen han intentado probar que, en los seres humanos, a la respuesta automática de la amígdala a las caras de miedo subyace una vía subcortical para la detección de los estímulos de amenaza que ésta realiza.

En concreto, mediante estudios de RMf se ha observado que la corteza visual no se activa cuando se procesan caras de miedo sin que haya consciencia de ello (Pasley *et al.,* 2004; Williams *et al.,* 2004). Parece ser que la amígdala responde preferentemente a una cara de miedo, incluso cuando no lo haga la corteza visual. Además, Vuilleumier y sus colaboradores (2003) aprovecharon el hecho de que una vía visual subcortical respondería de forma preferente a información visual burda, poco detallada, mientras que la corteza visual lo haría a una información visual muy detallada. Encontraron que la amígdala, el pulvinar y el colículo superior (componentes de una hipotética vía subcortical) respondían con más intensidad ante versiones poco detalladas de caras de miedo que ante caras con carácter neutro, mientras que la corteza visual respondía preferentemente a pequeños detalles de esas caras de miedo. Por último, en dos estudios se ha observado activación de la amígdala ante el miedo en pacientes con lesión en la corteza visual y una consecuente incapacidad de identificar conscientemente los estímulos (Morris *et al.,* 2001b; Pegna *et al.,* 2005). El aumento de respuesta de la amígdala ante caras de miedo en el caso de que no haya consciencia, información muy detallada o de que la corteza visual no esté intacta apoya la existencia de una vía subcortical para la detección de los estímulos de amenaza gracias a la amígdala.

Pero otro estudio (Pessoa *et al.,* 2002) llegó a una conclusión diferente. Utilizando una tarea que requería atención en la que se pedía a los sujetos que atendieran a la orientación de unas líneas en la

periferia de una pantalla mientras se presentaba una cara neutra o una de miedo en el centro, estos investigadores no observaron activación de la amígdala en respuesta a las caras de miedo si no se prestaba atención. En este caso, la respuesta de la amígdala a las caras de miedo no es automática. Pessoa *et al.* argumentaron que la existencia de una vía subcortical para la detección de la amenaza mediante la amígdala tendría como resultado una respuesta obligada ante una cara de miedo, independientemente de lo exigente que fuera la tarea de la atención. En otras palabras, la respuesta de la amígdala *nunca* dependería de la atención. Además, aún no existe una prueba anatómica en primates que verifique la existencia de una vía subcortical para detectar información visual mediante la amígdala (Pessoa y Ungerleider, 2004). Hasta la fecha, los datos indicativos de una vía semejante se limitan a ratas (Le Doux, 1996; Romanski y Le Doux, 1992)).

El descubrimiento de que la atención puede modular la respuesta de la amígdala a una cara de miedo demuestra claramente que la activación de la amígdala puede depender de la atención en *algunas* circunstancias y que no es *completamente* automática. Aunque estos resultados indican limitaciones en el automatismo de la respuesta de la amígdala a las caras de miedo, no descartan la posibilidad de que exista una vía subcortical. Una limitación a la hora de interpretar los resultados de RMf en seres humanos es que la señal observada no es una medida absoluta de la función neural, sino más bien una medida relativa que indica el grado de diferencia entre condiciones (por ejemplo, caras de miedo en comparación con caras neutras). No se puede concluir qué amígdala no responde, sino sólo que no hay una diferencia significativa en la activación observada. Por supuesto, los resultados de las pruebas de RMf esgrimidos para argumentar a favor de una vía subcortical señalando la falta de activación en las regiones visuales de sujetos normales adolece de las mismas limitaciones (Pasley *et al.,* 2004; Williams *et al.,* 2004). No está claro si la RMf, cuando se utiliza sin otras técnicas, puede aportar datos indicativos suficientes de si existe o no una vía subcortical para que la amígdala humana detecte estímulos visuales de amenaza. (Los indicios negativos más generales procedentes de los estudios de neuroimagen —diferencias no significativas en el grado de activación— no tienen tanto valor diagnóstico como los indicios positivos).

Aún sigue debatiéndose si existe o no en los seres humanos una vía subcortical para detectar los estímulos de amenaza mediante la amígdala. Sin embargo, reciba o no la amígdala *input* sobre el significado emocional de un estímulo a través de una vía cortical o subcortical, su activación ante las caras de miedo cumple la mayoría de los principios del automatismo —esto es, que es independiente de la atención y es una respuesta obligada— con ciertas limitaciones para tareas que exigen mucha atención (Pessoa *et al.,* 2002). Las investigaciones futuras habrán de determinar las características y el alcance de dichas limitaciones. Hasta el momento, la mayor parte, aunque no toda, de la investigación disponible apoya la hipótesis de la primacía afectiva, al menos en cuanto al procesamiento de los estímulos de amenaza. En la mayoría de las situaciones, la amígdala posibilita el procesamiento preferente de los estímulos que tienen carácter emocional y pueden representar una amenaza, asegurando así que la información importante para el organismo tenga mayores posibilidades de influir en la conducta.

*atención* (descrito en el Capítulo 3). El *parpadeo de atención* es una breve pérdida de atención que ocurre cuando un segundo estímulo visual aparece muy rápidamente, quizá unos pocos cientos de milisegundos, después del primero (Chun y Potter, 1995). (Los correctores de pruebas han de estar en guardia ante el *parpadeo de atención* o les pasará desapercibido un segundo error que aparezca poco después de un primero). Una prueba de *parpadeo de atención* podría emplear una secuencia de 15 palabras como estímulos que se presentan muy rápidamente, alrededor de uno cada 100 milisegundos. Si el experimentador les dice a los sujetos que sólo tienen que atender e indicar la presencia de dos palabras, las cuales están impresas en un color diferente al resto, los sujetos por lo general logran hacerlo —a no ser que la segunda palabra objetivo se presente poco después de la primera—. Es como si el hecho de percatarse y procesar la primera palabra objetivo crease un período refractario temporal durante el cual es difícil advertir e informar de una segunda palabra objetivo. Es como si la atención parpadeara.

Para investigar el papel de la amígdala en la facilitación de la atención, se cambió la relevancia emocional de la segunda palabra objetivo. Cuando la segunda palabra objetivo era una palabra emocional o activadora, era más probable que los sujetos indicaran su presencia (Anderson *et al.,* 2005). Dicho de otra forma, la emoción facilitaba el procesamiento y disminuía el parpadeo de atención. Acorde con los estudios de «la cara en la multitud» comentados anteriormente, este resultado sugiere que cuando los recursos de la atención son limitados, los estímulos emocionales alcanzan la consciencia con mayor prontitud que los no emocionales. El estudio se llevó a cabo también con pacientes que tenían una lesión en la amígdala (A. K. Anderson y Phelps, 2001). En estos pacientes no hubo diferencias en el efecto del parpadeo de atención ante palabras emocionales en comparación con palabras neutras, lo que brinda una prueba más de que la amígdala está modulando dicho aumento de la consciencia para los estímulos emocionales.

La idea de que sistemas neurales específicos dan lugar al aumento del procesamiento de atención y percepción de los estímulos emocionales es coherente con un modelo psicológico propuesto en los primeros años del siglo XX (Wundt, 1907). Éste consiste en la **hipótesis de la primacía afectiva**, la cual propone que los estímulos emocionales se procesan de forma relativamente automática, requiriendo menos de los limitados recursos cognitivos que otros tipos de estímulos. Los hallazgos de los estudios de parpadeo de atención, así como investigaciones recientes que demuestran un aumento de la detección de estímulos emocionales en el campo desatendido de pacientes con negligencia de atención (Vuilleumier y Schwartz, 2001; véase el Capítulo 3), apoyan esta teoría psicológica inicial.

Aunque al parecer la amígdala interviene en la facilitación de la atención que ejerce la emoción, tiene que interactuar con sistemas cerebrales subyacentes a la atención y la percepción para lograrlo. Se han propuesto dos mecanismos para explicar la influencia de la amígdala sobre los procesos de atención y percepción. El primero sugiere que el aprendizaje altera la representación cortical real de los estímulos emocionales para permitir un aumento de la percepción de los sucesos emotivos (Weinberger, 1995). Se han obtenido pruebas de este efecto mediante estudios de miedo condicionado en ratas en los que se ha demostrado que el procesamiento en neuronas que tienen campos receptores para diferentes frecuencias de tonos se altera para mejorar la percepción de las frecuencias que se utilizan como estímulo del miedo condicionado. En seres humanos, los estudios de neuroimagen han informado de un incremento de la activación en la corteza auditiva para un tono utilizado como estímulo condicionado durante el miedo condicionado (Morris *et al.,* 2001a). Asimismo, las palabras que tienen un significado emocional provocan una mayor activación en la circunvolución lingual[4] (A. K. Anderson, 2004), una región supuestamente implicada en la representación de las palabras (Booth *et al.,* 2002). Aunque estos estudios de neuroimagen en seres humanos no prueban que la emoción, a través de la amígdala, juegue un papel causal en la producción de cambios duraderos en la representación cortical de los estímulos, concuerdan con los estudios realizados en ratas que han observado este efecto (Weinberger, 1995).

El otro mecanismo que se ha propuesto para la facilitación de la atención por la emoción, es una modulación más rápida y transitoria del procesamiento perceptivo. Existen conexiones mutuas entre la amígdala y las regiones corticales de procesamien-

---

[4] Situada en la cara medial del lóbulo occipital, entre la cisura calcarina y la colateral *(N. del T.)*.

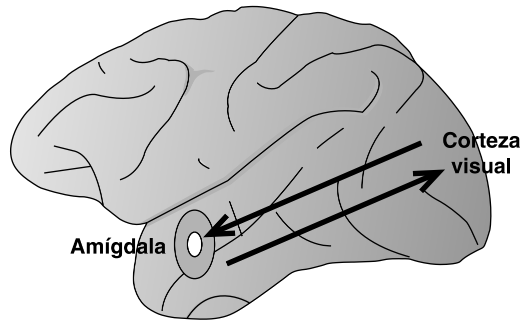



**FIGURA 8-14** La amígdala recibe información de regiones corticales sensitivas y les envía información

La amígdala puede recibir *input* sobre el significado emocional de un suceso en una fase inicial del procesamiento visual y proyectar la información de vuelta a las regiones corticales sensitivas para modificar un futuro procesamiento de atención y percepción.

to sensitivo, tales como la corteza visual (Amaral *et al.,* 1992) (véase la Figura 8-14). Se ha planteado la hipótesis de que la amígdala, la cual recibe *input* acerca de la importancia emocional de un estímulo en una de las fases iniciales de su procesamiento, proporciona una rápida retroalimentación a las áreas corticales sensitivas del cerebro, reforzando así los procesos de atención y percepción posteriores. Coincidiendo con este modelo, varios estudios de neuroimagen han hallado una mayor activación de la corteza visual ante estímulos emocionales (véase, p. ej., Kosslyn *et al.,* 1996; Morris *et al.,* 1998). La intensidad de esta respuesta de activación en la corteza visual se relaciona con la intensidad de la activación de la amígdala ante esos mismos estímulos (Morris *et al.,* 1991). Los investigadores han intentado determinar si el aumento de la respuesta de la amígdala ante caras de temor guarda una relación causal con el aumento de la respuesta de la corteza visual. Mediante técnicas de neuroimagen se ha comprobado que la lesión de la amígdala suprime el incremento de la respuesta de la corteza visual que se observa normalmente ante caras de temor (Vuilleumier *et al.,* 2004). Combinando estudios de neuroimagen con estudios de pacientes con daño cerebral, los investigadores han proporcionado un sólido apoyo a la conclusión de que la modulación transitoria de la amígdala de las regiones de procesamiento visual, subyace a algunos de los efectos de la emoción sobre la atención y la percepción.

A través de estos dos mecanismos —un cambio duradero en la representación cortical de los estímulos relacionados con la emoción y un refuerzo transitorio del procesamiento cortical sensitivo—, la amígdala puede alterar el procesamiento de la información aferente para dar lugar a un aumento de la vigilancia en presencia de una amenaza (Whalen, 1998). Estos dos mecanismos destacan la influencia de la emoción en las regiones perceptivas, como son la corteza visual y la auditiva, en contraposición con otras regiones cerebrales que supuestamente subyacen a la distribución cerebral de la atención (Corbetta y Shulman, 2002). Un conjunto creciente de pruebas sugiere que muchos de los efectos observados de la atención se relacionan con el aumento de la percepción (Carrasco, 2004) y el aumento del procesamiento en las regiones perceptivas del cerebro que tiene lugar cuando se atiende (Polonski *et al.,* 2000). Acorde con la idea de que la emoción refuerza la activación en las regiones de procesamiento visual, facilitando así la consciencia y la identificación de los estímulos emocionales, en un estudio reciente se ha encontrado una mayor sensibilidad al con-

traste en cuanto a estímulos señalizados por una cara de temor (Phelps *et al.,* en prensa). Se sabe que la sensibilidad al contraste —la capacidad para detectar sutiles graduaciones en la escala de grises— proviene del funcionamiento del área visual primaria (Carrasco, 2004). Estos resultados sugieren que la emoción puede realmente mejorar lo bien que vemos.

Los estudios que indican que la emoción puede facilitar la atención demuestran que la línea divisoria entre la atención y la percepción puede ser difusa. El hecho de que la emoción facilite la atención es, al parecer, el resultado de mecanismos por los que los estímulos emocionales tienen prioridad en la percepción. Los modelos de los mecanismos neurales que subyacen a la emoción, la atención y la percepción apoyan dicha interpretación.



## Control de comprensión



1. ¿Cuáles son los dos modos en los que la emoción puede influir en la atención?
2. Descríbase cómo la amígdala puede intervenir en la modulación de la atención o la percepción mediante la emoción.

# Repaso y reflexión

**1.** *¿Cómo han definido los investigadores la emoción para hacer posible que se investigue científicamente el modo en que interactúan la emoción y la cognición?*

Aunque todos sabemos por intuición qué es la emoción, encontrar una definición precisa de la emoción supone un reto. La emoción suele describirse como la serie de reacciones relativamente breves (incluyendo la expresión facial, las respuestas corporales y la evaluación subjetiva) que ocurren en respuesta a un suceso significativo, interno o externo. En este sentido, la emoción se ha diferenciado del estado de ánimo, las actitudes y la motivación —todos ellos implican respuestas afectivas y pueden influir en la cognición—. Los investigadores interesados en el estudio del impacto de la emoción en la cognición por lo general han considerado o bien las emociones básicas, o bien las dimensiones de la emoción. Las emociones básicas se reflejan en expresiones faciales distintivas, en alegría, tristeza, desagrado, miedo, ira y sorpresa. Las consideraciones dimensionales reflejan o bien cualidades específicas de la respuesta de emoción (valor y *arousal*), o bien el estado de motivación (aproximación frente a retirada) suscitado por un acontecimiento.

**Piense críticamente**

- ¿Pueden las «emociones básicas» o el enfoque dimensional de la emoción captar la complejidad de la emoción que se experimenta en la vida?
- ¿Cómo se podría saber si un animal o un insecto está experimentando una emoción?, ¿qué tipo de señales comportamentales guiarían nuestra conclusión?

**2.** *¿Qué técnicas se utilizan habitualmente para manipular y valorar la emoción en condiciones de laboratorio?*

Los investigadores han utilizado una serie de técnicas diferentes para suscitar y evaluar la emoción. El medio más frecuente de manipular la emoción es presentar estímulos que evocan emoción. Las técnicas para valorar la emoción incluyen tanto evaluaciones directas como indirectas. Una respuesta afectiva se puede evaluar de modo directo simplemente pidiendo a los sujetos que relaten sus experiencias subjetivas. Dos medidas fisiológicas indirectas frecuentes son la respuesta de conductibilidad de la piel, que mide la transpiración moderada que ocurre cuando se activa el sistema nervioso autónomo, y el sobresalto potenciado, el cual expresa una respuesta refleja que está modulada por la emoción. En términos de actividad cerebral, se ha comprobado que estas diferentes evaluaciones de la emoción reflejan la acción de distintas vías neurales. Aunque las medidas directas e indirectas de una reacción emocional pueden ser similares, reflejan (al menos en parte), distintos componentes de la emoción.

**Piense críticamente**

- Reflexionando sobre nuestras experiencias de la semana pasada, ¿cómo hemos intentado valorar o manipular la emoción en una situación social?, ¿qué es lo que hicimos?
- ¿En qué medida piensa el lector que su respuesta corporal a un acontecimiento emocional es coherente o incoherente con su experiencia emocional subjetiva?, ¿por qué piensa que lo es?

3. *¿De qué manera pueden adquirir los estímulos carácter emocional y cómo se expresa este aprendizaje emocional?*

Aunque existen algunos estímulos en el entorno que, de modo natural, provocan una reacción emocional, como por ejemplo una descarga eléctrica, la mayoría de los estímulos y acontecimientos que provocan una reacción emocional han adquirido su carácter emocional mediante aprendizaje. Estos reforzadores secundarios son estímulos neutros que adquieren sus propiedades emocionales al ser asociados con un acontecimiento emocional (el dinero es un ejemplo clásico de un reforzador secundario). Dicha asociación puede ocurrir de diversas maneras. Cuando se emparejan directamente un acontecimiento neutro con uno emocional sin que haya una acción por parte del sujeto, se ha dado un condicionamiento clásico. El condicionamiento instrumental ocurre cuando un estímulo neutro indica una acción que llevará a una recompensa o a un castigo. También podemos aprender las connotaciones emocionales de un acontecimiento sin experimentar realmente sus consecuencias positivas o negativas a través de medios sociales, o mediante instrucción verbal u observación de la experiencia ajena. El aprendizaje emocional se puede expresar de modo directo, evaluando subjetivamente estímulos emparejados con acontecimientos emocionales (por ejemplo, ¿cuánto nos gusta esa persona?), o de modo indirecto, mediante respuestas autónomas a esos estímulos (por ejemplo, ¿se nos acelera el corazón cuando vemos a esa persona?). Estudios de pacientes con daño cerebral, así como de personas normales señalan que las medidas directas e indirectas pueden reflejar parcialmente mecanismos de aprendizaje emocional independientes.

**Piense críticamente**

- Si nos encontráramos de improviso con alguien con quien la relación terminó de mala manera, ¿qué tipo de reacciones emocionales suponemos que tendría-

mos?, ¿cómo cabría esperar que cambien esas diferentes reacciones si nos encontráramos diariamente a esa persona durante una semana?
- ¿Cuáles son algunos de los símbolos culturales (el dinero es uno) que han llegado a adquirir connotaciones emocionales?, ¿cómo se han convertido en emocionales esos símbolos?

4. *¿Cómo modifica la emoción nuestra capacidad de recordar?*

Se sabe desde hace tiempo que la emoción puede influir en la memoria; los investigadores han ayudado a especificar exactamente cómo ocurre esto. Puede que el efecto de la emoción sobre la memoria más investigado sea la influencia del *arousal* en la exactitud de los recuerdos. Mediante la modulación por parte de la amígdala de la consolidación de la memoria en el hipocampo, una respuesta de *arousal* contribuye a asegurar que haya más probabilidad de que los acontecimientos emocionales se recuerden. No obstante, si esta respuesta de *arousal* se prolonga (estrés excesivo), la emoción puede tener el efecto opuesto; esto es, puede perjudicar el rendimiento de la memoria mediante cambios en el hipocampo.

Además, los investigadores han encontrado que el estado de ánimo durante la recuperación de la memoria puede alterar qué información es más probable que se recupere. Y la investigación acerca de la memoria de acontecimientos públicos emotivos sugiere que la emoción puede tener un efecto independiente sobre la percepción subjetiva del recuerdo. Los acontecimientos emotivos a menudo se recuerdan con una marcada sensación de confianza y minuciosidad, aun cuando esos recuerdos no sean del todo exactos. Estos estudios hacen pensar que nuestra sensación de lo veraces que son nuestros recuerdos de acontecimientos emotivos puede que no refleje la veracidad real en el mismo grado que lo hacen nuestros recuerdos de acontecimientos neutros.

**Piense críticamente**

- ¿Qué estábamos haciendo en un día determinado que fue muy significativo, desde el punto de vista personal o social?, ¿qué confianza nos merece la precisión de nuestra memoria? Confrontemos, si nos es posible, los detalles de nuestro recuerdo con los de alguna otra persona que también esté implicada. ¿Tenemos los dos los mismos recuerdos de los acontecimientos de aquel día?
- En la última ocasión en la que estuvimos tristes, ¿qué tipo de cosas recordamos?, ¿son diferentes de los recuerdos que nos vienen a la mente cuando tenemos un estado de ánimo mejor?, ¿en qué se diferencian?

5. *¿Cómo cambian la atención y la percepción debido a la emoción?*

La emoción puede influir en la atención de dos maneras distintas, pero relacionadas. Es más probable que accedan a la consciencia los acontecimientos emotivos que suceden en el entorno que los acontecimientos neutros. Las razones evolutivas de esto están claras: los acontecimientos emotivos pueden indicar una amenaza y, por lo tanto, debemos estar especialmente sensibilizados a esos acontecimientos. Sin embargo, cuando hay algo emocional en el ambiente, ese estímulo podría captar la atención y hacer más difícil que la atención se centre en los aspectos no emocionales de la situación. En este sentido, a veces la emoción puede perjudicar el rendimiento en tareas de atención, especialmente si la tarea requiere prestar atención a los aspectos no emocionales del estímulo. En cuanto a los mecanismos cerebrales que subyacen a la influencia de la emoción en la atención, destaca el papel que desempeña la amígdala modulando el procesamiento en la

corteza visual. Esta modulación del procesamiento en las áreas perceptivas del cerebro puede desembocar en un realce de la percepción de los estímulos emocionales.

**Piense críticamente**

- Se suponía que Mr. Spock, de la serie de televisión *Star Trek,* era mitad humano y mitad Vulcano —y su lado Vulcano, gobernado tan solo por la razón y la lógica, era el dominante—. No estaba influido por la emoción. ¿En qué se diferenciaba su interacción con el entorno de la nuestra?, ¿en qué sentido actuaría Mr. Spock mejor que nosotros en una situación de emergencia?, ¿cómo podría resultar afectada su reacción?
- Si la emoción influye en la atención y la percepción, ¿cómo cabría esperar que otras funciones cognitivas, tales como la memoria y el razonamiento, se alteraran consecuentemente?

# Toma de decisiones




## Objetivos de aprendizaje

Estamos solos en casa y la cuestión es si respondemos o no al teléfono. Tenemos una nueva colaboradora en el laboratorio. Es interesante y atractiva. ¿La telefoneamos y la proponemos vernos para tomar un café? Podría ser. ¿Nos gusta nuestra nueva colaboradora? Parece que sí. ¿Está comprometida con alguien? Quién sabe. ¿Aceptará la invitación? Bien, quien nada arriesga, nada gana. Pero, por otra parte. mañana tenemos un examen. Teniendo en cuenta nuestros planes para después de la graduación, sería buena idea ir la biblioteca y revisar las lecturas optativas, algo que muy probablemente aumentará nuestra puntuación. No podemos hacer las dos cosas. ¿Cuál es nuestra decisión?

En este capítulo nos ocupamos de las siguientes preguntas sobre las decisiones y el modo en el que las tomamos:

1. ¿Qué elementos componen una decisión?
2. ¿Cómo se comparan las decisiones humanas con el modelo ideal de toma de decisiones, llamado el modelo de «utilidad esperada»?
3. ¿Cómo determinamos el valor de las consecuencias de nuestras decisiones?
4. ¿Qué papel juegan las emociones en los procesos de decisión?
5. ¿En qué heurísticas fundamentales nos basamos para estimar la probabilidad de los acontecimientos inciertos?
6. ¿Cómo cambian las decisiones cuando las situaciones se vuelven inciertas, ambiguas y más complejas que las de los simples experimentos de laboratorio?

# 1 Naturaleza de una decisión

Básicamente, una **decisión** es una elección entre posibilidades. Implica evaluar las líneas de acción disponibles y determinar qué acción se llevará a cabo (o no se llevará a cabo). Una decisión ocurre cuando una persona con una necesidad insatisfecha realiza una acción para satisfacer esa necesidad o deseo. Intuitivamente sabemos que una «buena» decisión es la que elige el mejor proceder disponible ante la incertidumbre de las consecuencias. ¿Por qué la incertidumbre? Porque al tomar una decisión no siempre se dispone de toda la información pertinente. No podemos ponderar valiéndonos sólo de la lógica la cita para tomar café en comparación con la sesión en la biblioteca. ¿Llevará la cita para tomar café a una agradable promesa de futuro?, ¿resultará útil la sesión de estudio en la biblioteca para responder a las preguntas del examen? No podemos conocer las respuestas definitivas a estas preguntas en el momento en el que tomamos la decisión.

Algunas decisiones son fáciles de tomar y, en realidad, incluso podrían no considerarse como «decisiones» ya que la elección parece ser obvia. Con frecuencia hay una opción dominante que claramente es mejor que las otras respecto a los factores importantes en cada caso. No lleva mucho tiempo tomar una decisión cuando se pide un plato en un restaurante conocido o cuando se acepta un trabajo mejor pagado y más interesante que un trabajo peor pagado y más aburrido. Decisiones como éstas son fáciles debido a que sabemos lo que queremos (nuestros valores) y lo que obtendremos (las consecuencias). Por supuesto, muchas decisiones son mucho más difíciles y las apuestas mucho más altas; algunas —como la respuesta a una enfermedad o lesión, o la elección de un compañero— son fundamentales para la supervivencia y la transmisión de nuestros genes. Pero tanto para las decisiones fáciles como para las difíciles, estos dos factores, *el valor que tiene para nosotros cada opción* y el *resultado probable,* son decisivos en la toma de decisiones.

## 1.1. La ciencia de toma de decisiones

Un método práctico de análisis de la decisión fue descrito por Benjamin Franklin en una carta a su amigo Joseph Priestley en 1772:

> Lo que hago es dividir por la mitad una hoja de papel mediante una línea formando dos columnas; encabezó una como Ventajas y la otra como Inconvenientes. Entonces... pongo debajo de cada encabezamiento las diferentes razones que se me ocurren a favor y en contra de la medida a tomar. Cuando tengo todo esto, lo repaso de un vistazo e intento estimar su peso respectivo; cuando encuentro dos, cada una de ellas en una columna, que parecen tener el mismo, las tacho. Con este procedimiento, al final encuentro donde se halla el equilibrio y si no ocurre nada importante en la otra columna, llego a una determinación acorde con lo anterior. Y, aunque el peso de las razones no se les pueda adjudicar la precisión de una cantidad algebraica, cuando cada una de ellas se considera así, por separado y en comparación, y las tengo todas ante mi, pienso que puedo juzgar mejor y que es menos probable que dé un paso en falso. De hecho, he sacado mucho provecho de este tipo de ecuación, que podría llamarse álgebra moral o juiciosa.

En nuestros días, las primeras teorías sobre la toma de decisiones que se utilizaron en la investigación comportamental procedieron de modelos económicos y matemáticos elaborados a mitad del siglo XX. Estos modelos estaban pensados para proporcionar un marco en el que tomar la mejor decisión posible dado un conjunto de circunstancias (Edwards, 1954). En tanto que **teorías normativas** (o **preceptivas**) de la toma de decisiones —esto es, como teorías que nos dicen qué es lo que *deberíamos* decidir— siguen siendo unas de las más exitosas inventadas por los seres humanos. También se han utilizado como hipótesis *iniciales* para describir la conducta humana real. Cabe presumir que el éxito evolutivo de nuestros antepasados dependió en parte de que tomaron mejores decisiones que otros miembros de nuestra propia especie y de otras especies competidoras. Si así fuera, entonces es de suponer que nuestros cerebros fueron influidos por la selección natural para tomar decisiones adecuadas —lo que significa seguir la mejor política de toma de decisiones, la cual sabemos que se basa en sopesar los factores pertinentes y hacer una elección racional—. Al menos, esto es la hipótesis que plantearon los investigadores.

Sin embargo, una elección racional puede ser de hecho una meta inalcanzable. Como dijo Franklin «... al peso de las razones no se le puede otorgar la precisión de cantidades algebraicas...» ¿Cómo tomamos una decisión frente a información incierta, incompleta y frente al sesgo? Desde los años 1970, las **teorías descriptivas**, que se centran en cómo tomamos *realmente* las decisiones y no en cómo *deberíamos* tomarlas, han aumentado nuestro conocimiento sobre la toma de decisiones. Estas teorías han desembocado en una investigación que ha puesto de manifiesto cómo la conducta humana se aparta de lo que prescribe una elección totalmente racional.

El resultado ha sido la elaboración de modelos psicológicos descriptivos que son útiles para predecir y explicar la conducta humana de toma de decisiones. Ésta tiene mucho en común con otras capacidades cognitivas complejas tales como la resolución de problemas (véase el Capítulo 10) y el razonamiento. Así pues, las teorías psicológicas de toma de decisiones plantean una interesante mezcla de mecanismos racionales y cognitivos plausibles.

Para explorar hoy en día la investigación científica de la toma de decisiones se requiere, en primer lugar, conocer los modelos tradicionales, normativos, así como los modelos psicológicos que se han construido basándose en ellos. A este conocimiento contribuyen además las investigaciones que han estudiado los sistemas neurales subyacentes a los procesos de decisión. Tanto los estudios comportamentales como los neurales se basan considerablemente en juegos del tipo de los del casino en tanto que problemas experimentales, debido a que están bien definidos, les resultan interesantes a los sujetos y suponen una analogía válida, aunque muy abstracta, de muchas situaciones cotidianas. Los ingredientes clave de los juegos, o de las elecciones, al igual que de las decisiones importantes que se toman fuera de la situación de laboratorio, son los resultados que se desean (en el juego, por lo general, el dinero), antes que una posible línea de acción para obtener esos resultados, y la falta de certeza sobre la probabilidad de que se consiga un resultado determinado si se elige un modo de proceder u otro.

La actividad cognitiva básica de la toma de decisiones es evaluar cada una de las posibles elecciones y determinar cuál tiene más probabilidades de conseguir las metas propuestas. La vida presenta muchas metas y aún más posibilidades de elección; en el laboratorio, con frecuencia se pide a los sujetos que elijan entre posibilidades que no ofrecen otra cosa más que un beneficio. Esto se hace para simplificar las dos partes de

cualquier decisión sensata: «¿qué es lo que quiero?» y «¿cómo equilibro las particularidades buenas y malas de cada posibilidad de la que dispongo?». El experimentador está en general seguro al asumir que a todos los sujetos les gustará ganar dinero y que más bien tendrán más dinero que menos. Aunque la metáfora del juego y las tareas del juego presentan diversas limitaciones, han predominado en la investigación realizada hasta la fecha sobre las bases comportamentales, y en especial las bases neurales, de los procesos de decisión.

## 1.2. El árbol de decisiones

Los componentes de una decisión se resumen adecuadamente en una representación gráfica conocida como el **árbol de decisiones**. Los árboles de decisiones representan las líneas de acción o las opciones que se consideran, la probabilidad de lo que obtengamos al elegir cada línea de acción y las consecuencias que se seguirán de cada elección. Podemos representar el dilema cita-biblioteca en un árbol de decisiones como el que aparece en la Figura 9-1. Este árbol representa las líneas de acción: invitar a nuestra nueva colaboradora del laboratorio a una cafetería frente a una sesión de estudio en la biblioteca. Una de las opciones implica poca incertidumbre acerca de las consecuencias: es bastante probable, aunque no seguro, que revisar las lecturas optativas mejorará nuestro rendimiento en el examen. La opción de «salir a tomar café» implica mucha más incertidumbre: la nueva colaboradora puede aceptar encantada la invitación; o puede que no esté interesada —y si no lo está y la conversación es incómoda, se puede perder la amistad incipiente al igual que la perspectiva de una tarde agradable con una posible compañera—. Si acepta la invitación, el árbol de decisiones debería ampliarse en el futuro para considerar posibles consecuencias más lejanas: un amor permanente, el rechazo, una amistad perdurable, una situación embarazosa,

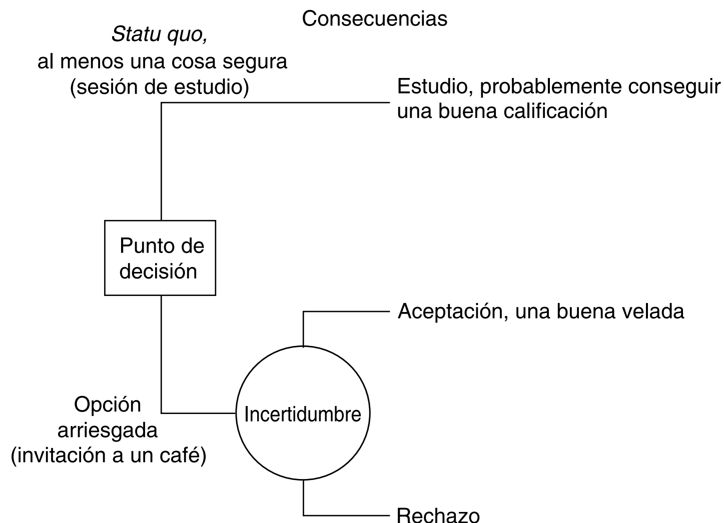



**FIGURA 9-1** Árbol de decisiones para la cita del café

Los árboles de decisiones proporcionan un modo útil e intuitivo de visualizar las decisiones, ya que resumen las alternativas de acción, sus resultados y consecuencias, así como los eventuales acontecimientos inciertos. Se pueden utilizar para analizar decisiones personales y profesionales y son un buen método para realizar el seguimiento de las decisiones que se presentan a los sujetos de los experimentos.

una relación de trabajo difícil en el laboratorio. Así pues, de las dos opciones, una de ellas —quedar para ir a la cafetería— es la opción más incierta y, por lo tanto, implica mayor riesgo o pérdida potencial.

El árbol de decisiones es una ayuda práctica, útil para representar los aspectos de una decisión. Cualquier situación que podamos llamar decisión está compuesta por *alternativas, creencias* (relacionadas con las probabilidades) y *consecuencias* —elementos que pueden describirse como el ABC de la decisión—.

Las **alternativas** son los diferentes modos de proceder, opciones, elecciones y estrategias disponibles para el que toma la decisión, y se representan mediante las ramas del árbol. En el árbol de decisiones del ejemplo sólo hay dos: sesión de estudio frente a cita para el café. Por supuesto, esto es una simplificación de la situación, ya que existen otras: podemos llamar a cualquier otra persona e ir al cine, podemos pasar la tarde viendo la televisión o podemos acostarnos temprano... Descubrir y articular las alternativas implica a muchas de las capacidades que se describen habitualmente como «resolución de problemas». Éste es un ejemplo de la estrecha relación entre la toma de decisiones y otros aspectos de la cognición. Cuando tomamos una decisión deliberada, habitualmente consideramos sólo unas cuantas de las muchas acciones concebibles que podríamos realizar. El árbol de decisiones, aun cuando se simplifique en gran medida, probablemente sea una buena descripción aproximada del estado cognitivo de la mente de quien toma la decisión.

Una **creencia**, tal como se utiliza el término en el contexto de la toma de decisiones, es nuestra estimación de la probabilidad de que ocurra un resultado concreto si elegimos una alternativa en particular. La alternativa de la biblioteca conlleva prácticamente una certeza sobre su resultado; confiamos —*creemos*— en que al estudiar mejorará nuestro rendimiento en el examen. Un mejor rendimiento es a todos los efectos prácticos un «acontecimiento seguro». Los acontecimientos que procedan de una llamada telefónica para sugerir una cita en la cafetería son mucho menos seguros. Estas creencias se cuantifican como probabilidades matemáticas en la Figura 9-2.

La mayoría de las teorías de la toma de decisiones suponen que razonamos sobre la incertidumbre de manera análoga a los cálculos prescritos por la teoría matemática de la probabilidad, aunque las teorías descriptivas realistas tienen reglas que difieren en varios aspectos importantes de las prescritas por la teoría de la probabilidad (véase, por ejemplo, Rottenstreich y Tversky, 1997; Tversky y Koehler, 1994). En un análisis formal de la decisión, la meta es conseguir que quienes toman decisiones piensen de un modo más racional, de modo que la información relativa a las creencias se añade al árbol de decisiones en forma de las probabilidades numéricas de que ocurran los acontecimientos. Si quien toma las decisiones cree que la alternativa conduce a un resultado seguro —la rama de la sesión de estudio en nuestro ejemplo—, la probabilidad es 1,00 (véase la Figura 9-2).

La otra opción, la «cita en la cafetería», conlleva incertidumbre. Para representar esto en un diagrama se inserta un círculo a partir del cual los acontecimientos posibles se muestran como programas posteriores: las dos posibilidades inmediatas, ninguna de ellas cierta, son la aceptación y el rechazo. Cada rama tiene asignado un número basado en la creencia de quien toma la decisión, y que indica la probabilidad de ese suceso. Al enfrentarse a la decisión de la cafetería y el estudio, quizá no estimemos realmente las probabilidades numéricas de la aceptación-rechazo ante la invitación; pero muy probablemente podríamos pensar qué podría o no ocurrir, antes de levantar el teléfono, y los pensamientos podrían incluir una estimación aproximada de si la invitación terminará bien o de mala manera.

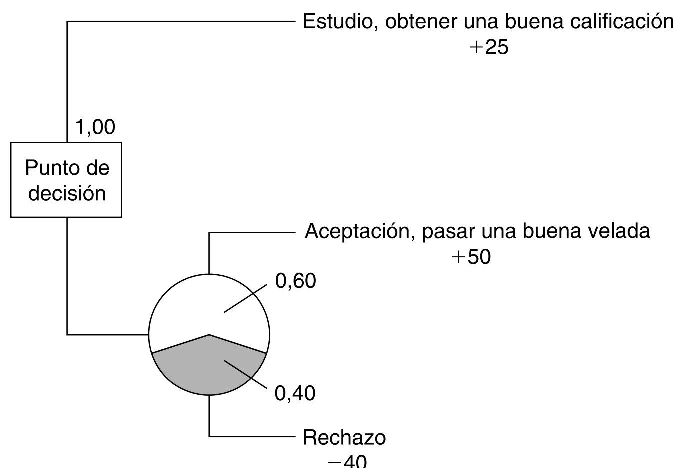



**FIGURA 9-2** Árbol de decisiones con cifras para la cita del café

Los árboles de decisiones pueden ayudar a realizar el seguimiento de detalles de decisiones, tales como probabilidades numéricas (1,0, 0,60 y 0,40) y recompensas (+25, +50 y −40). Aquí el árbol muestra las probabilidades y las ganancias que podrían ser aceptables para quien toma una decisión al elegir entre una cita para tomar un café y una sesión de estudio. El árbol establece los cálculos que se requieren para aplicar el modelo de utilidad esperada.

Las **consecuencias** son los beneficios o pérdidas que se reciben o experimentan, derivadas de la elección de una alternativa particular y los acontecimientos que siguen a esa elección. En la terminología de la teoría de decisiones, las consecuencias se denominan resultados, valores o utilidades. El *resultado* y el *valor* son lo que su nombre indica, y la *utilidad* es lo deseable que resulta el valor para quien toma la decisión. (Aprenda el lector bien estos términos ya que se utilizarán reiteradamente a lo largo del capítulo). Muy probablemente nos sentiremos mejor si salimos a la cafetería y tenemos una tarde espléndida; nos sentiremos peor si se rechaza nuestra invitación y nos sentiremos bien si nos decidimos por los libros. Obviamente, las evaluaciones dependen de las metas y de los valores personales, así que las consecuencias de una decisión son subjetivas. Si se es un estudiante vocacional, la decisión es fácil: «Mi meta es ingresar en la Facultad de Medicina, así que estudiaré sin importar lo que pase». Si se está la facultad solamente por satisfacer a los padres, si se odia el estudio y la meta es tan solo aprobar el curso, la decisión también es simple: «Cuando tengas que estudiar, haz cualquier otra cosa».

Pero si las metas no se encuentran en ninguno de los extremos, se puede estar en un dilema: la alternativa incierta (hacer la invitación) tiene varias consecuencias, algunas de valor más alto y otras de valor más bajo que la alternativa segura (estudio para el examen). Por supuesto, las evaluaciones pueden variar: si se confía en obtener una alta puntuación en el examen sin necesidad de más trabajo o si se está en peligro de tener una baja puntuación, se puede adjudicar un valor diferente a la sesión de biblioteca de esta tarde.

Los teóricos de la decisión simbolizan la evaluación de las consecuencias que realiza quien toma una decisión en términos de utilidades, cantidades que, en el momento en el que se enfrenta la decisión, expresan la intensidad del gusto o disgusto que se siente ante los resultados que pueden ocurrir. Pero la vida no siempre se ajusta a los números. Los juicios críticos normales que hacen las personas en circunstancias de in-

certidumbre no están incluidos en las reglas matemáticas de la teoría de la probabilidad. Tampoco existe una teoría formal que indique la relación ideal entre valores y utilidades y que responda por entero al problema. Se necesitan modelos psicológicamente descriptivos y éstos, como veremos, se han elaborado. Aún así, el proceso de valoración resulta especialmente enigmático. Ésta es una de las razones por la que en muchos experimentos acerca de la toma de decisiones se emplean resultados monetarios: las personas reaccionan frente al dinero de un modo muy predecible. (Y es por esto que muchos estudios neurocientíficos de la toma de decisiones se han centrado en la valoración). El modelo tradicional de *utilidad esperada* en la toma de decisiones racional es, pese a sus limitaciones, un buen punto de partida para un punto de vista documentado de la toma de decisiones humana.



### *Control de comprensión*



1. ¿En qué sentido están involucradas otras capacidades y habilidades cognitivas —procesos ejecutivos, atención y percepción, capacidad de resolución de problemas, razonamiento— en la toma de decisiones?
2. Construyamos un árbol de decisiones para traer a la mente una decisión reciente que haya ocupado nuestros pensamientos: ¿En qué trabajo?, ¿en qué campo principal de estudio?, ¿con vacaciones? etc. ¿Cuál fue nuestro razonamientos sobre las alternativas, creencias (incertidumbres) y consecuencias de nuestra decisión?, ¿podría habernos ayudado hacer un árbol de decisiones para pensar más claramente sobre la decisión?

## 2 Toma de decisiones racional: el modelo de utilidad esperada

Al analizar el dilema de la cita del café-sesión de estudio, hemos considerado la probabilidad de varios resultados (creencias) posibles y hemos llegado a la evaluación de los resultados (consecuencias). La **utilidad esperada** es la utilidad de un resultado particular, sopesado por la probabilidad de que dicho resultado ocurra. El **modelo de utilidad esperada**, que ha proporcionado el marco teórico de la mayoría de los modelos sobre la toma de decisiones, asume una conducta racional en quien toma la decisión al valorar las probabilidades que tienen las posibles alternativas, al evaluar las consecuencias, al asignar las utilidades, al ponderar o multiplicar las utilidades por su probabilidad y, por último, al elegir la opción con la utilidad esperada más alta. La utilidad implicada es fundamentalmente subjetiva; la pregunta informal «¿qué importancia tiene para nosotros?» resume la idea de la *utilidad subjetiva*. La cuestión central no es sólo el valor intrínseco, sino el valor que tiene para uno mismo, para quien toma la decisión. Al contrario que el valor real de un billete de 5 €, la utilidad subjetiva varía de una persona a otra, de una circunstancia a otra.

## 2.1. Cómo funciona el modelo

La teoría de la decisión formal, en su planteamiento del modelo de la utilidad esperada (subjetiva), propone que combinamos la información en un proceso en tres etapas: (1) Evaluar cada una de las líneas de acción que se están considerando («haré la llamada telefónica») *multiplicando* la utilidad de cada una de sus consecuencias (aceptación o rechazo) por la probabilidad de que ocurra (0,6 o 0,4). Para obtener las cifras de las utilidades, se ha de estimar qué importancia se le da a ser aceptado o rechazado. (2) *Sumar* estos valores ponderados —las utilidades esperadas— para crear un resumen de la evaluación de cada alternativa. (3) *Elegir* la línea de acción que tenga la *utilidad esperada* más alta, esto es, aquella con una mayor suma de utilidades ponderadas de forma probabilística. La utilidad esperada no será la misma para cualquier persona que se encuentre en la misma situación —quizás un estudiante de arte asignaría una utilidad diferente a las consecuencias de la que nosotros le asignaríamos o una persona con mayor confianza en sí misma podría asignar probabilidades más altas a los resultados más deseables—. Éste es, de hecho, un proceso *subjetivo*; una única talla no sirve para todo el mundo. Nuestra decisión, en este proceso, es adoptar la línea de acción que tiene, para nosotros, la mayor utilidad esperada.

Esta regla de decisión de «maximizar la utilidad» es el núcleo de las teorías económicas modernas sobre la conducta racional y puede resumirse en una concisa ecuación que representa la evaluación de cada línea de acción. Expresado en palabras, la ecuación sostiene que la utilidad esperada (subjetiva) de una acción es igual al sumatorio (Σ) de las probabilidades ($p$) de cada resultado posible ($x_i$, donde el índice $i$ es una variable que representa cada resultado posible) multiplicado por la utilidad ($u$) de dicho resultado. Así pues,

$$\text{Utilidad esperada} = \Sigma p(x_i)u(x_i)$$

Puede que hayamos visto versiones de este modelo como cálculos del valor esperado en cursos de la teoría de la probabilidad elemental.

Un ejemplo: supongamos que hemos de elegir entre dos apuestas, en una hay una probabilidad de 0,45 de ganar 200 €, en la otra una probabilidad de 0,5 de ganar 150 €; nuestros cálculos nos dirán que los valores esperados son 200 € × 0,45 = 90 € y 150 € × 0,5 = 75 €, respectivamente, y así pues se elegirá la apuesta con el valor esperado más alto —esto es, con la *ganancia media* más alta si los juegos se jugaran muchas veces—.

Como hemos mencionado, el análisis racional y la idea de la utilidad esperada se estudian frecuentemente en términos de apuestas y dinero; en estas situaciones, los valores no son tan difíciles de cuantificar como pueda ser, por ejemplo, disfrutar de una tarde placentera. El cálculo es simple (aunque también aquí se ha de tener en cuenta el elemento subjetivo): la probabilidad de ganar × la ganancia. Si existiera una penalización por no ganar —esto es, si el resultado es una pérdida y no tan solo la que continúe la situación actual—, ese inconveniente también debe incluirse. Así pues, el valor esperado para la puesta simple es: (probabilidad de ganar × ganancia) —(probabilidad de perder × cuantía de la pérdida)—. No es tan sencillo adjudicar una «ganancia» al éxito de la cita en la cafetería. Pero para resaltar el argumento (aunque no sea práctico), los principios involucrados se pueden aplicar al dilema de «cita en la cafetería o sesión de estudio». Las probabilidades y las utilidades se pueden asignar a los acontecimientos y a los resultados de esta situación (véase la Figura 9-2).

Supongamos que las utilidades que otorgamos son +25 para el estudio, +50 para la aceptación de la cita y una tarde agradable en la cafetería y −40 para el rechazo. Admitamos que creemos que estudiar nos proporcionará una buena puntuación en el examen (probabilidad de una buena puntuación = 1,00). Supongamos, asimismo, que no estamos muy seguros de la posibilidad de que nuestra invitación sea aceptada: estimamos la probabilidad de ser aceptado como de 0,60 (60%) lo que por supuesto significa que la probabilidad de rechazo es de 0,40 (40%). Así pues, la opción del «estudio» tendrá una utilidad prevista de +25, o lo que es igual:

Probabilidad de una buena puntuación × Utilidad del estudio = 1 × 25 = 25

Por otra parte, la cita en la cafetería tendrá una utilidad prevista de +14, esto es:

Probabilidad de ser aceptado × Utilidad de una tarde agradable = 0,60 − 50 = 30
Probabilidad de rechazo × Utilidad del rechazo = 0,40 × (−40) = −16

... de modo que la *utilidad esperada* de la cita incierta en la cafetería sería (+30) + (−16) = +14

Las puntuaciones son 25 frente a 14, luego, si tomásemos la decisión racional, deberíamos ponernos el abrigo e ir la biblioteca —pero, en verdad, ésta es una dura decisión...—.

## 2.2. El modelo de utilidad esperada y la investigación de la conducta

La primera investigación conductista sobre la toma de decisiones, realizada en la década de 1950, se basaba en gran parte en el juego como estímulo, y utilizaba el modelo de la utilidad esperada como una hipótesis sobre los juicios y las decisiones humanas. Las *alternativas* de decisión en estos estudios eran, habitualmente, juegos monetarios. Las *creencias* de los sujetos (sobre las probabilidades) se basaban en la información que les daba el experimentador sobre las probabilidades de recibir diversas ganancias. Las *consecuencias* eran ganancias en metálico.

Muchos de estos estudios iniciales tenían como fin convertir cifras estímulo objetivas, tales como valores monetarios y probabilidades numéricas, en valores subjetivos —por ejemplo, convertir en un factor el valor que para un sujeto puede tener una determinada cantidad de dinero en una situación dada—. Los sujetos respondieron al valor esperado (o utilidad esperada) de los juegos, prestando atención tanto a las probabilidades como a los premios y eligiendo predominantemente la «mejor apuesta». En la Figura 9-3 se recogen los resultados de un experimento en el cual se pidió a estudiantes universitarios que valoraran varios juegos fijando un precio de venta para cada uno de ellos (Shanteau, 1975; véase también Tversky, 1969). Por ejemplo, se podía pedir a los sujetos que pusieran precio a los juegos que tuvieran una probabilidad de 0,2 o 0,4 o 0,6 o 0,8 de ganar 30 céntimos. La configuración en abanico de las curvas en los gráficos indica que los sujetos asignaron un precio más alto a los juegos de valor creciente, lo que demuestra que evaluaron los juegos conforme a la regla de multiplicación del valor esperado (Valor = Probabilidad × Ganancia) que es el núcleo central de la teoría del valor esperado. Se han observado pautas de multiplicación similares en las evaluaciones realizadas por estudiantes universitarios sobre lo atractiva que les resultaban posibles citas (Shanteau y Nagy, 1976).

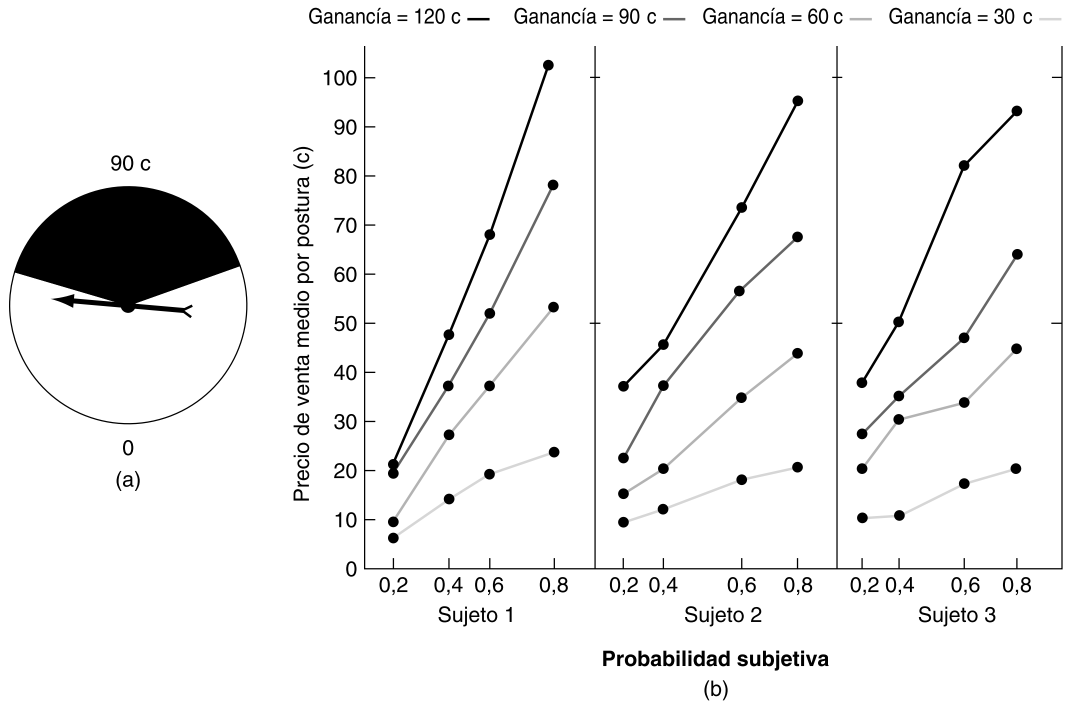



**FIGURA 9-3** ¿Merece la pena?

(a) La rueda de la fortuna que se presentó a los sujetos, a quienes se les pidió que «vendieran» la oportunidad de apostar para ganancias de 120 céntimos, 90 céntimos, 60 céntimos y 30 céntimos, con diferentes probabilidades. Aquí se muestra tan sólo el caso de la oportunidad de los 90 céntimos; la proporción entre las áreas oscuras y claras indica la probabilidad de ganar.

(Shanteau, J. (1975). Un análisis de integración de la información o toma de decisiones arriesgadas. En M. F. Kaplan y S. Schwartz (eds). Human judgment and decision processes (pp. 109-137). New York: Academic Press. Reimpreso con autorización de Elsevier).

(b) El gráfico representa los resultados de tres sujetos. Todos los gráficos presentan una evidente configuración en «abanico», lo que indica que los sujetos están respondiendo como si estuvieran multiplicando la probabilidad y los términos de ganancia y el orden de los juegos de un modo similar al prescrito por el modelo de utilidad esperada. Pero adviértase que no están sólo estableciendo el *valor* esperado de los precios de venta de los juegos: la mayoría de los precios son menores que los correspondientes valores de venta esperados, lo que indica que los sujetos tienen aversión al riesgo; esto es, los juegos inciertos les merecen menos la pena que sus valores de venta esperados.

Los estímulos monetarios del juego se han utilizado en muchos experimentos de neuroimagen en diversos laboratorios, y los juicios comportamentales de los sujetos apoyan reiteradamente la hipótesis de que sus evaluaciones se basan en el principio de la multiplicación del valor esperado. Evidencias convergentes proceden de investigaciones que han utilizado técnicas de registro unicelulares en primates no humanos. En ellas se han identificado pequeñas agrupaciones de neuronas que parecen servir de «medidores» de probabilidad y valor cuando los monos evalúan las probabilidades, similares a las de juegos sencillos, de conseguir una recompensa de zumo de frutas en un juego (Glimcher, 2003; Newsome, 1997). Esto es, en algunas poblaciones neuronales aumenta la actividad cuando aumenta la probabilidad de recompensa; sin embargo, en otras disminuye cuando aumenta la cantidad esperada de recompensa. En la actualidad, varios laboratorios están buscando las neuronas responsables de integrar por multiplicación la información relativa a la probabilidad y el valor.

Igualmente, economistas y psicólogos han previsto y descubierto que además del valor o la utilidad esperados, en la toma de decisiones tiene importancia la *varianza* del juego. La *varianza* de un juego es un cálculo mediante fórmulas que describe el intervalo entre posibles ganancias. La varianza de las preferencias, a veces denominada *actitudes de riesgo*, difiere de una persona a otra. Algunas personas prefieren juegos con un intervalo pequeño en las posibles ganancias, otros eligen juegos con alta varianza, con posibles altas ganancias y altas pérdidas. Por ejemplo, algunas personas (de las que se dice que tienen **aversión al riesgo**) preferirán la ganancia segura de unos 100 €, mientras que otras (los **buscadores de riesgo**) preferirán la oportunidad de ganar 200 €, aun corriendo el riesgo de obtener prácticamente nada.

También existen diferencias individuales en el deseo de elegir juegos que puedan entrañar una pérdida —es decir, una disminución real en los activos—. Hay quienes evitan un juego que implique una pérdida potencial, sin que importe el valor esperado y la varianza del juego. De las personas que, en mayor o menor grado, muestran esta inclinación se dice que tienen **aversión a la pérdida**.

En la teoría económica tradicional, dichas características de la conducta individual en situaciones de riesgo se resumen mediante *curvas de utilidad*. En este tipo de curvas se relaciona la valoración subjetiva —la utilidad, trazada en el eje vertical *y*— con una unidad de medida objetiva tal como los euros —trazada en el eje horizontal *x*—. Una curva de utilidad representa la *utilidad marginal* —esto es, el cambio en la utilidad, ya sea ascendente o descendente— como una función del cambio de la ganancia relativa.

En la Figura 9-4 se puede ver que el impacto marginal de pérdidas y ganancias en la forma cóncava (arriba a la derecha) y en la convexa (abajo a la izquierda) de la curva, tiende a la horizontal en sus extremos. Una pérdida de 110 € comparada con una pérdida de 100 € es mucho menos significativa que la diferencia existente entre perder 10 € y perder 20 €, independientemente de que el valor absoluto de la variación en las pérdidas sea el mismo en ambos casos. (Esto muestra claramente la diferencia existente entre utilidad y valor: un valor de 10 € es siempre 10 €). El mismo impacto de aminoración se aplica a las ganancias. Muchas personas son sensibles a estas características de las utilidades. Imaginemos un día en las carreras, y lo contentos que estaríamos si ganáramos 10 € en la primera carrera. Nuestra racha ganadora continúa: después de la quinta carrera hemos ganado en total 100 €. Ganamos una vez más, así que al final tenemos 110 € en vez de 100 €. ¿Estamos mucho más contentos? Muchos sujetos dicen que el primer cambio en esta situación hipotética, de 0 € a 10 € es mucho más satisfactorio que el último, de 100 € a 110 €. Consideremos la posibilidad de ahorrar 10 € en el precio de una calculadora de 30 € en una tienda del otro extremo de la ciudad en comparación con la posibilidad de ahorrar 10 € en el precio de una calculadora de 130 € en una segunda tienda, también en el otro extremo de ciudad. ¿Cruzaríamos la ciudad para ahorrar en la compra de la calculadora más cara, pero no lo haríamos para comprar la más barata?

El grado de curvatura de las funciones de pérdidas y ganancias corresponden a las actitudes de riesgo: la forma cóncava en las ganancias implica aversión al riesgo, mientras que la forma convexa para las pérdidas significa búsqueda del riesgo. La curva de utilidad representada en la Figura 9-4 nos dice que las personas prefieren la seguridad en el caso de las ganancias y la incertidumbre en el de las pérdidas. Esto, de hecho, refleja las preferencias de las personas.

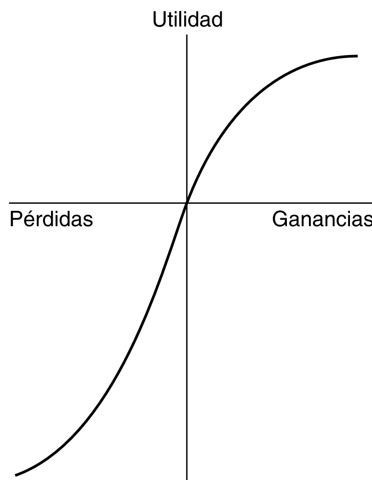



**FIGURA 9-4** Una curva de utilidad

Al relacionar los resultados objetivos con las utilidades subjetivas o valores, la forma de la curva resume algunas ideas importantes sobre cómo asignamos valores a los resultados. En el lado de las ganancias, la curva se aplana, recordándonos que la percepción de los valores muestra un «efecto de utilidad marginal en disminución»: más es mejor, pero las ganancias adicionales se valoran menos que las mismas cantidades conseguidas en ganancias anteriores. Igualmente, la curva también se aplana en el lado de las pérdidas: una mayor pérdida duele más, pero el «dolor» disminuye según se acumulan las pérdidas. Por último, la curva incluye un componente de «aversión a la pérdida»: la curva de pérdidas asciende más del doble que la curva de ganancias, lo que indica que una pérdida «duele» más del doble que una ganancia de la misma magnitud.

(Basado en la Figura 3 de Kahneman, D. y Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica,* 47, 263-291. Reimpreso con autorización).

Para apreciar esta diferencia entre pérdidas y ganancias, consideremos el siguiente par de juegos. De tener que elegir, ¿cuál preferiríamos, el juego 1 o el juego 2?

*Juego 1*. Al tirar una moneda, se ganan 10 € si sale cara y 50 € si sale cruz.
*Juego 2*. En cualquier caso se ganan 30 €.

La mayoría de las personas tomarán los 30 € seguros, demostrando así que tienen aversión por el riesgo. Veamos ahora las pérdidas:

*Juego 3*. Al tirar una moneda, se pierden 10 € si sale cara y 50 € si sale cruz.
*Juego 4*. En cualquier caso se pierden 30 €.

Aun cuando las cantidades monetarias son las mismas que en los juegos 1 y 2, en esta ocasión la mayoría de los sujetos escogerá el juego 3: cuando hay pérdidas relacionadas, las personas son generalmente buscadoras del riesgo —esto es, antes que la pérdida cierta de una determinada cantidad, aceptan la posibilidad de una mayor pérdida si es posible tener una pérdida menor—.

En el gráfico de la Figura 9-4, la pendiente de la sección de pérdidas de la curva es mucho más inclinada que la de la sección de ganancias; la distancia desde el punto de partida (cero) hasta el correspondiente a la utilidad de una pérdida en 10 € es mucho mayor que la distancia existente entre el punto de partida y la utilidad de una ganancia de 10 €. Muchas personas no jugarán a un juego que signifique una ganancia de 200 € si sale cara y una pérdida de 100 € se sale cruz, incluso si el valor esperado para esta apuesta es de 50 € —esto es, $(0{,}5 \times 200) + (0{,}5 \times -100) = 50$ €. Para muchas personas, las pérdidas aparentemente «duelen» cuando menos el doble de lo

que «agradan» las ganancias: para aproximadamente el 50% de los sujetos, la posibilidad de una ganancia de 200 € es suficiente para compensar la posibilidad de la pérdida de 100 €.

La tendencia a la aversión a la pérdida se manifiesta en muchas decisiones del día a día. En la forma más simple de la «elección sin riesgos», tendemos a sentir que la pérdida de utilidad al entregar algo que poseemos es mayor que la ganancia de utilidad de obtener algo en posesión —es como si un objeto ganase valor adquirido simplemente por pertenecernos—. Este efecto, llamado **efecto de donación**, se demostró por primera vez en un experimento en clase (Kahneman *et al.,* 1991). Se dio a la mitad de los estudiantes una nueva posesión (por ejemplo, una taza para café o una pluma) y se les pidió que asignaran un precio al objeto, un precio por el que querrían venderlo a otro estudiante. A la otra mitad de los estudiantes, los compradores, se les pidió que indicaran el precio por el que querrían comprar el objeto, estableciéndose así un valor de mercado para, por ejemplo, una taza de café. A todos los estudiantes se les dijo que después de que hubieran asignado sus precios se establecería un mercadillo en la clase y habría una compraventa entre vendedores y compradores. Si un comprador ofreciera un precio igual o mayor que el precio del vendedor, se cambiaría la jarra por dinero. Todos los estudiantes, tanto compradores como vendedores, se enfrentaban a la misma cuestión: ¿Merece la pena la jarra? Al final cada uno acabaría, bien con una jarra, o bien con dinero.

Adviértase, sin embargo, que los dos grupos tenían diferentes perspectivas del problema. Los vendedores estaban evaluando la pérdida: ¿Cuánto dinero es suficiente para compensar la pérdida de mi jarra? Los compradores estaban evaluando una ganancia: ¿Cuánto dinero estoy dispuesto a gastar para conseguir una jarra? El principio de aversión a la pérdida —que las pérdidas tienen mayor impacto que las ganancias de la misma magnitud— predice que los vendedores dan un valor a las jarras mayor que los compradores —y esto es lo que pasó en realidad en el mercadillo de la clase—. Esta previsión se ha confirmado en docenas de estudios y demostraciones en clase con muy diversos productos y diferentes métodos de evaluar el valor real que tenían los objetos para sus propietarios. Habitualmente, los valores asignados por los vendedores eran aproximadamente el doble de lo que consideraban los compradores. (Es importante indicar que en este mercadillo en clase no se regateaba, de otro modo podríamos interpretar el «efecto de donación» como si se debiera a una estrategia de venta).

La aversión a la pérdida también explica muchos hábitos financieros a una escala mucho mayor. Por ejemplo, los economistas han estado desconcertados por un fenómeno de inversión conocido como «la paradoja de las acciones *premium*» (Mehra y Prescott, 1985): ¿Por qué tantos inversores colocan una gran parte de su capital en bonos y en otras inversiones de baja oscilación y bajo beneficio cuando podrían estar invirtiendo en acciones más volátiles pero de mucho mayor beneficio? La hipótesis de los investigadores señala que lo que puede estar ocurriendo es que la aversión a la pérdida evita la inversión en valores de alta variabilidad (Benartzi y Thaler, 1995). Debido a que las pérdidas se sienten con más intensidad que las ganancias, comprobar con frecuencia una cartera de valores de alta variabilidad —algo que revuelve el estómago como una montaña rusa— puede producir unos momentos especialmente poco gratos cuando se experimentan pérdidas dolorosas; y habrá más de estos momentos cuanto más frecuentemente se compruebe el valor de la cartera. Se han realizado investigaciones de seguimiento en mercados controlados en laboratorio en las

que se han reproducido las experiencias reales de los inversores en Bolsa y que han proporcionado un fuerte apoyo a la interpretación de la aversión a la pérdida. Simplemente el aumento de la frecuencia con la que se anunciaba el valor de las acciones hizo que los inversores cambiaran de valores de alta variabilidad a valores de baja variabilidad.

El efecto general de aversión a la pérdida es la tendencia a favorecer el *status quo* del cambio. Al igual que en la demostración del mercadillo de las jarras para café, el efecto de aversión puede entorpecer las operaciones en los mercados, convirtiendo incluso operaciones comerciales mutuamente ventajosas en algo lento e ineficaz. También parece jugar un papel en negociaciones en las cuales cada parte tiende a encajar cada acuerdo como una pérdida personal y, por lo tanto, como una ganancia de la otra parte. Los cursos de negociación se esfuerzan en enseñar a los negociadores a representar y volver a representar situaciones, de modo que las soluciones se puedan evaluar de forma más objetiva, sin las distorsiones creadas por un encuadre unilateral de referencia sobre pérdidas y ganancias.

## 2.3. Limitaciones generales del modelo de utilidad esperada

Por supuesto, incluso en lo que conocemos mejor, tomamos «malas decisiones» —es decir, decisiones que son irracionales según el modelo de utilidad esperada—. Si se nos ofrece una probabilidad de 0,45 de ganar 200 € o una probabilidad de 0,50 de ganar 150 €, el valor esperado calculado —(0,45 × 200) = 90; (0,5 × 150) = 75— sugiere que se ha de aceptar la primera y esto es lo que hacen la mayoría de los sujetos. ¿Pero, qué haríamos si se nos ofreciera la posibilidad de elegir entre una oportunidad de 0,90 de ganar 200 € y la seguridad de una ganancia de 150 €? Aunque el valor esperado de la primera posibilidad es más alto —180 contra 150—, la mayoría de los sujetos elegirían la segunda. Esta preferencia pone de relieve tanto el especial atractivo de un ingreso seguro pese a los cálculos del valor esperado y la fragilidad del modelo de utilidad esperada, el cual predice que si se prefiere la opción del mayor valor esperado en el primer par de apuestas, se volverá a elegir el mayor valor esperado en el segundo par. Pero las personas, al parecer, no hacen eso.

Otros resultados experimentales han demostrado que los sujetos tienden a estimar el valor de acuerdo con el modelo de utilidad esperada, pero no así las probabilidades de las consecuencias. Al asignar **pesos de decisión** —nuestra estimación de las posibilidades de los diversos resultados de una decisión—, tenemos aparentemente una tendencia general a ponderar excesivamente las pequeñas probabilidades, a no valorar las probabilidades moderadas y altas, y a ponderar excesivamente los resultados seguros (como en el último caso). Por ejemplo, cuando se les pidió a unos sujetos que estimasen la probabilidad de varias causas de muerte, tendieron a sobreestimar acontecimientos considerablemente improbables (tornados, terremotos) y a subestimar otras causas más comunes (enfermedades del corazón) (Lichtenstein *et al.,* 1978). Esta pauta refleja la diferencia entre la probabilidad real de un acontecimiento y la probabilidad que imaginamos. Dichas creencias subjetivas en los casos en los que el resultado es incierto, contradicen alguna de las leyes básicas de la teoría de la probabilidad matemática y son un aspecto irracional del razonamiento humano (Figura 9-5). Pongamos por caso, si la probabilidad de que salga cara al arrojar una moneda está ponderada a la baja y la probabilidad de que salga cruz lo está también, las preferencias basadas en los juegos de lanzamiento de monedas infringirán las reglas básicas de la

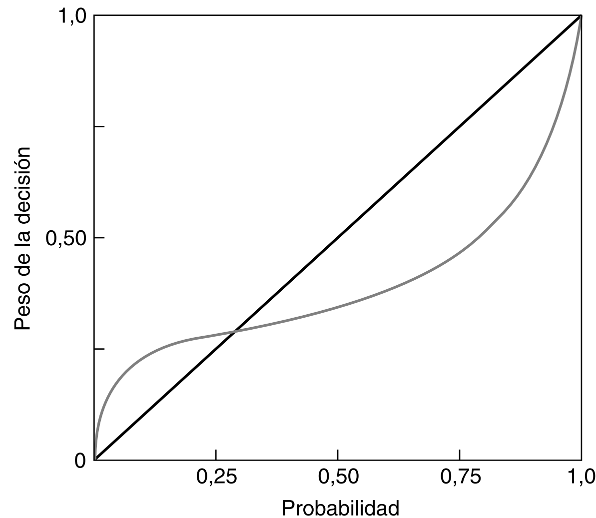



**FIGURA 9-5** Curva de los pesos de decisión

La curva relaciona las probabilidades objetivas con las probabilidades subjetivas —esto es, con los pesos de decisión—. La pendiente de la curva en las proximidades del cero (0) y de la certeza (1) indica que somos muy sensibles a pequeños cambios de las probabilidades en dichos puntos: los «picos de posibilidad» y la certeza tiene un gran impacto en nuestras decisiones. La parte relativamente plana de la curva, entre 0,15 y 0,75, indica que somos relativamente insensibles a las diferencias de probabilidad en dicho intervalo —la diferencia entre 0,40 y 0,49 no nos interesa mucho, mientras que la diferencia entre 0,90 y 0,99 nos interesa mucho—.
(Basado en la Figura 1 de Tversky, A. y Kahneman, D. (1992). Advances in Prospect Theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty 5*, 297-323).

teoría de probabilidad —que la probabilidad de un acontecimiento (caras, *p*) más la probabilidad de su complementario (cruces, 1-*p*) debe sumar 1—.

Aunque el modelo de utilidad esperada no es un modelo psicológico perfecto, aporta una buena primera aproximación a la conducta de toma de decisiones en seres humanos (y en muchos de los animales no humanos) (Bateson y Kacelnik, 1998; Krebs y Kacelnik, 1991). Si un organismo está muy motivado (una rata o un mono hambrientos, un ser humano enfrentándose a la decisión de hacer o no una inversión de 100.000 €) y si la situación es sencilla y aporta toda la información pertinente (el animal ha estado buscando comida durante varios días en los alrededores, el inversor tiene un buen conocimiento del mercado), es probable que el modelo haga predicciones exactas de la conducta.



## *Control de comprensión*



1. Supongamos que apostamos 5 € al rojo en una mesa de ruleta americana. Si sale rojo, doblamos muestro dinero (10 €); en otro caso, perdemos los 5 €. Existen 18/38 posibilidades de que salga al rojo. ¿Cuál es el *valor esperado* de nuestra apuesta de 5 €?
2. Ahora, consideremos la *utilidad esperada* de nuestra apuesta al rojo en la ruleta: ¿en qué se diferencia la utilidad esperada del valor esperado?, ¿cómo puede explicar la utilidad esperada las apuestas de muchas personas en juegos de casino de este tipo?

## 3 Bases neurales de los cálculos de utilidad esperada

En su fascinante obra *Decisiones, incertidumbre y el cerebro: la ciencia de la neuroeconomía* (2003), Paul Glimcher expone un convincente caso del modelo de la utilidad esperada (véase también Schall, 2001). Glimcher y otros muchos investigadores han encontrado regiones del cerebro en las que hay actividad neural relacionada con la ejecución de los cálculos prescritos por el modelo de la utilidad esperada. Estos investigadores, mediante registros unicelulares en el cerebro de mono, han descubierto neuronas localizadas en la región lateral inferior de la corteza parietal cuya actividad se corresponde directamente con la probabilidad y la magnitud de la recompensa. Dicha investigación se centró inicialmente en la **utilidad experimentada**, esto es, las reacciones (en términos de su valor o valía) a acontecimientos recompensados cuando se obtiene la recompensa. Desde entonces se ha pasado gradualmente a investigar la **utilidad de la decisión,** la anticipación, en el momento en que se toma la decisión, del valor o valía esperado de un resultado concreto. En un organismo bien adaptado, una utilidad de la decisión por anticipado debería predecir hasta cierto punto la utilidad que se experimenta y probablemente ambas valoraciones implicarían a algunas de las mismas estructuras cerebrales.

En la tarea experimental básica, desarrollada en la década de 1980 por William Newsome, se requería a monos discriminar entre dos puntos que se mueven en diferentes direcciones (de arriba abajo y de derecha a izquierda) (Newsome, 1997). A los monos se les recompensaba cuando elegían correctamente una dirección del movimiento al responder con movimientos oculares que indicaban su decisión. La tarea es similar a las tareas de elección en el juego que predominan en la investigación de laboratorio con seres humanos. En cada ensayo, los monos eligen entre dos posibilidades inciertas (la discriminación suele ser difícil), luego tienen que aprender de la experiencia la probabilidad de recibir una recompensa (en su caso, zumo de frutas) y que recibirán su recompensa como resultado de una decisión juiciosa (y afortunada).

Estos investigadores descubrieron que, en el mono, neuronas dentro del área parietal lateral y del colículo superior (que es una estructura subcortical involucrada en el cambio de atención visual) se activaban por anticipado; otros investigadores encontraron actividad también en la corteza prefrontal dorsolateral (Kim y Shadlen, 1999). Las neuronas de estas estructuras cerebrales disparaban con mayor frecuencia en los milisegundos justo antes de que los monos indicaran sus decisiones mediante movimientos oculares. Hay dos aspectos de estos hallazgos que tienen una importancia especial. En primer lugar, el resultado se obtuvo en algunos de los ensayos de la prueba, intercalados entre ensayos regulares, en los que los puntos se movían en direcciones aleatorias. Por lo tanto, en esos «ensayos de puntos aleatorios» el estímulo no se relacionaba con el resultado de la decisión del mono. En segundo lugar, las neuronas referidas no se localizan en el inicio de la parte de percepción visual del circuito neural ni en un segmento de control motor del circuito. Están justo en el centro, en una intersección que conecta a los sistemas perceptivo y motor. De hecho, la estimulación eléctrica de las neuronas de estas estructuras cerebrales sesgó las decisiones de los monos (Salzman *et al.,* 1990), resultado que aportó una demostración convincente del papel causal de dichas estructuras en la decisión.

Otros investigadores siguieron rápidamente los experimentos revolucionarios de Newsome con estudios posteriores sobre el sistema de decisión y movimiento ocular.

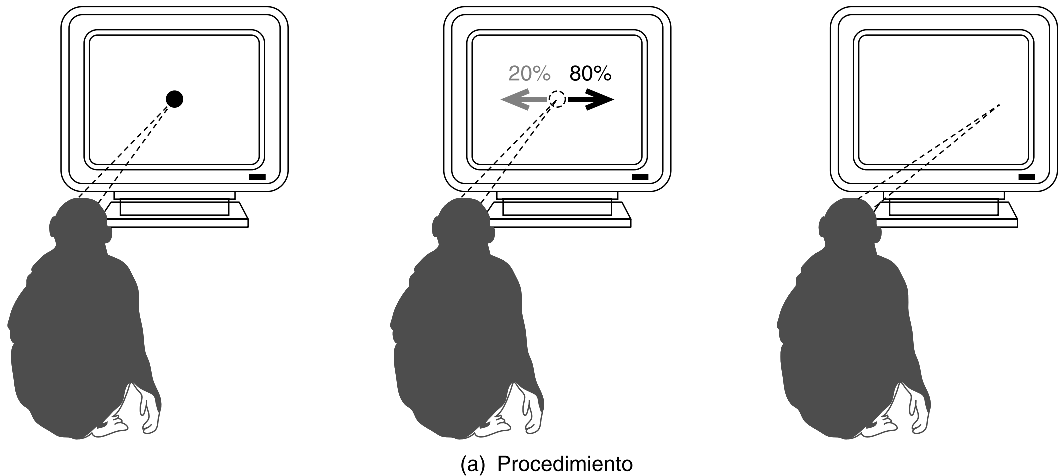
Glimcher y sus colaboradores (cuyo trabajo resumió Glimcher, en 2003) buscaron mecanismos neurales que pudieran realizar cálculos de utilidad como los prescritos por la ecuación de la utilidad esperada subjetiva. En los experimentos de Glimcher, un mono aprendió a mover los ojos a la derecha o a la izquierda siguiendo una señal de color que indicaba qué dirección era probable que se recompensara, o «pagara», con un sorbo de zumo (Figura 9-6a). La probabilidad de recibir un sorbo y, si es que había una recompensa, la cantidad de zumo que se daba, cambiaban sistemáticamente. Los registros unicelulares demostraron que había neuronas individuales dentro de la corteza parietal lateral cuya actividad, *antes* del resultado, seguía los cambios de probabilidad (véase la Figura 9-6b) y la magnitud de la recompensa (Figura 9-6c), cubriendo un intervalo completo de valores. Los investigadores buscaron una actividad relacionada en esta área debido a que es uno de los «cuellos de botella neurales» dentro de un extenso sistema de vínculos entre el *input* visual y el control motor de los movimientos oculares del mono (Platt y Glimcher, 1999).

Además de investigar las áreas neurales que computan y se sirven de medidas de utilidad, los investigadores están intentando también descubrir cómo se codifican en el cerebro estos valores de utilidad. Hay algunos indicios de que el sistema de la dopamina puede jugar un papel importante en ello. En una tarea de condicionamiento clásico que utilizaba zumo como estímulo incondicionado de recompensa, se registró la actividad de neuronas dopaminérgicas —es decir, neuronas activadas por la dopamina— individuales en áreas mesencefálicas ventrales del mono. Los investigadores presentaron una señal visual al mono que indicaba la probabilidad (y la cantidad) de una recompensa de zumo (Fiorillo *et al.,* 2003). Los registros de una muestra de neuronas dopaminérgicas individuales de áreas mesencefálicas ventrales del mono mostraron respuestas sistemáticas relacionadas directamente con la probabilidad de recibir una recompensa de zumo. Además, se observó que estas mismas neuronas presentaban respuestas después de la recompensa, las cuales podrían interpretarse como «reacciones de sorpresa» —alta frecuencia de respuesta cuando, de hecho, se recibía una recompensa pese a su baja probabilidad (véase la Figura 9-7)—.

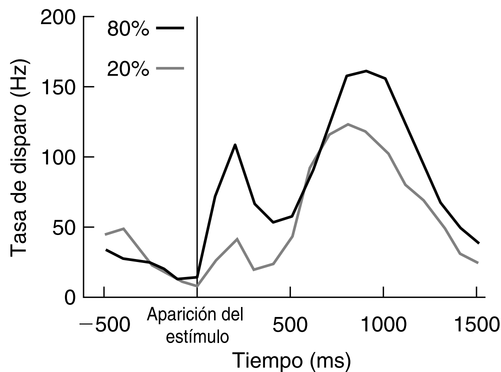
Aún no ha habido informes de un importante resultado experimental. Los investigadores han encontrado «medidores» neurales para la magnitud de la recompensa y para la probabilidad de ésta (y probablemente aún existan más por descubrir). Pero sería especialmente significativo que se pudieran identificar estructuras neurales que reflejaran una cantidad representativa del resumen de la utilidad esperada de las posibles consecuencias, esto es, del *producto* de Valor × Probabilidad, tal como se representa en la Figura 9-3.

¿Qué ocurre con las personas? La investigación con sujetos humanos ha buscado correlatos neurales para calcular la incertidumbre y la utilidad usando técnicas de neuroimagen. Algunos estudios han encontrado activación en el núcleo *accumbens* (un sistema que utiliza la dopamina como neurotransmisor) asociada con la perspectiva de ganancias monetarias (Gehring y Willoughby, 1999; Knutson *et al.,* 2001). Otros investigadores han observado también activación del núcleo *accumbens,* así como de una extensión de la amígdala y parte de la corteza cerebral orbitofrontal, al anticipar pérdidas y ganancias monetarias (Breitner *et al.,* 2001). En todos estos resultados, el aumento de actividad estaba relacionado con la magnitud de las consecuencias que se anticipaban.

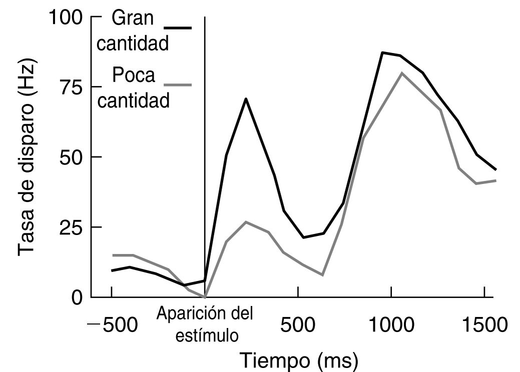
Quizás el resultado más interesante del estudio de Breitner es la observación de que el cerebro responde a cantidades relativas, no absolutas, que se pueden ganar o




(a) Procedimiento




(b) Al variar la probabilidad de recompensa




(c) Al variar la cantidad de recompensa

**FIGURA 9-6** El mono y el zumo

(a) El mono comienza un ensayo fijando la mirada en un punto central de la pantalla. El punto cambia a uno de dos colores, cada uno de los cuales indica la dirección de la mirada (izquierda o derecha) que posiblemente será recompensada. Se varió la probabilidad de recompensa en un intervalo comprendido entre 0,20 y 0,80, de modo que los investigadores pudieran evaluar si algunas neuronas estaban «anticipando» la probabilidad de una recompensa.

(Gimcher, P. (2003). Decisions, uncertainty and the brain: The science of neuroeconomics. Cambridge, MA; MIT Press. Figuras 10.11, 10.12, 10.13; pp. 257-263. © 2003 por el *Massachusetts Institute of Technology*. Reimpreso con autorización).

(b) Registro de una sola neurona de la región parietal inferior lateral a lo largo del tiempo, que demuestra una clara disociación de la actividad cuando había una probabilidad baja (20%) de que la dirección correspondiente al campo receptor visual de la neurona fuera recompensada frente a una alta probabilidad (80%) de que lo fuera. Un resumen de muchos cálculos similares a éstos demuestra que los monos parecen calcular las probabilidades previas y las posteriores de una manera racional. (c) Resultados cuando los investigadores variaron la cantidad de zumo que se recibía —esto es, la utilidad o valor de la recompensa—. También en este caso, las neuronas de la región parietal inferior lateral sirven de medidores de las recompensas «anticipadas» (y de las recibidas).

(Platt, M. L., y Glimcher P. W. (1999). Neural correlates of decision variables in parietal cortex. *Nature, 400*, 233-238. Figuras 1 y 2. Reimpreso con autorización).

perder. Una de las comparaciones que hicieron Breitner y sus colaboradores (2001) fue entre tres loterías, todas ellas implicando el posible resultado de 0 € (al menos aparentemente, una cantidad neutra y nula) con una probabilidad de un tercio. Se es-

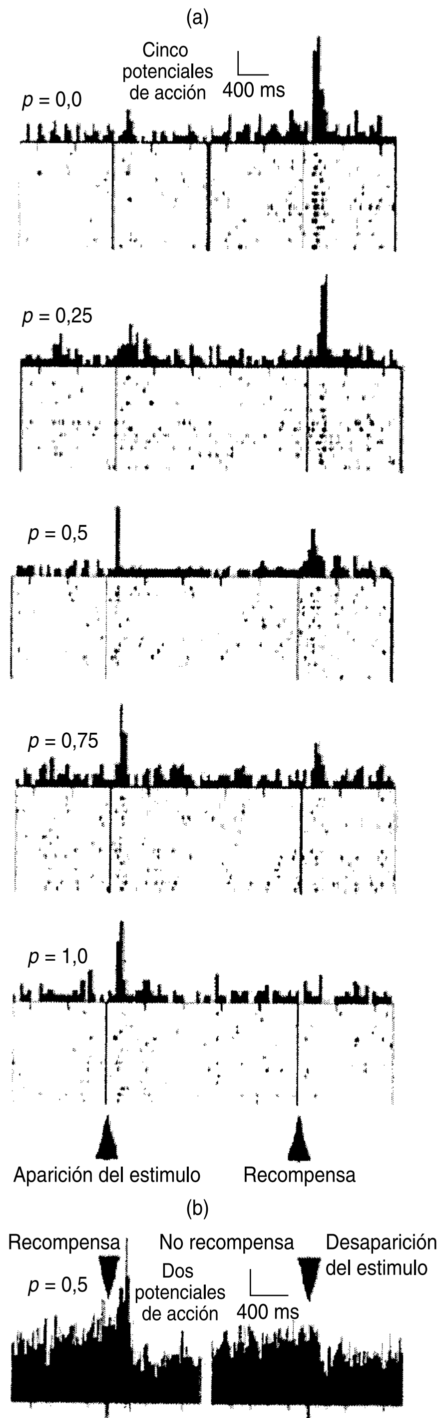



**FIGURA 9-7** Un mono, zumo y una sorpresa

(a) Actividad de una sola neurona representativa perteneciente a la región mesencéfalica ventral del mono cuando recibió una señal que indicaba la probabilidad de recibir una recompensa de zumo y después de recibir la recompensa (en un intervalo de 0,0 a 1,0). La actividad inmediatamente después de la señal estímulo reflejó la probabilidad indicada por la señal —más actividad en el caso de una probabilidad más alta—. (b) La actividad después de que se recibiera la recompensa reflejó en espejo la actividad anterior, lo que esencialmente indica cuán «sorprendido» estaba el mono de recibir la recompensa: la mayor actividad después de ser recompensado se dio tras una señal de baja probabilidad.

(Fiorillo, C. D., Tobler P. N. y Schultz, W. (2003). Discrete coding of reward probability and uncertainty in dopamine neurons. *Science, 229*, 1898-1902. Figura 1, tan sólo partes A y B.)

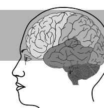
tablecieron tres variantes de una lotería básica con 0 € ($p = 1/3$) emparejadas con dos premios (10 €, 2,50 €), una mezcla de ganancia (2,50 €) y pérdida (1,50 €) o dos pérdidas ($-2{,}50$ € o $-6{,}0$ €). El fascinante resultado fue que la reacción de la amígdala a recibir 0 € fue o bien positivo o bien negativo dependiendo de «qué otra cosa

podía haber ocurrido». El cerebro registraba «decepción» (menor actividad neural) cuando los resultados alternativos eran mejores que 0 € y «regocijo» (mayor actividad neural) cuando 0 € era el mejor de los tres resultados posibles.

Así pues, hay un cúmulo de datos de que el cerebro lleva a cabo cálculos de utilidad como los que determina la ecuación de la utilidad esperada, de que las pérdidas y las ganancias no se tratan exactamente del mismo modo y de que incluso pudiera existir una ruta neural diferenciada para evaluar las consecuencias monetarias. Sin embargo, el relativismo de los resultados de Breitner y sus colaboradores representa un gran problema para el modelo de utilidad esperada, como veremos más adelante al examinar los «efectos del encuadre de valores».



### *Control de comprensión*



1. ¿Cuál es la diferencia entre la utilidad experimentada y la utilidad de la decisión?, ¿podemos pensar en un caso personal en el que hayamos observado una gran diferencia entre los dos tipos de utilidad?, ¿por qué pudo ser importante la diferencia?
2. ¿Cuáles son los resultados experimentales clave a favor de que el cerebro calcula utilidades esperadas?

## 4 Toma de decisiones en seres humanos y el modelo de utilidad esperada: ¿es un modelo apropiado?

Hemos dicho que el modelo de utilidad esperada aporta una buena primera aproximación a la conducta humana y así es. Pero no es un modelo psicológico completamente satisfactorio. En los primeros años de la investigación (1950-1970), sin embargo, unos cuantos resultados que contradecían la teoría se trataron como anomalías y no se tuvieron en cuenta como problemas en el conjunto del marco teórico. (Se calificaron como *paradojas* dado que el modelo de utilidad esperada se mantenía como una verdad tan evidente que cualquier excepción se consideraba sólo como una contradicción «aparente»). Pero durante los años setenta y ochenta, el goteo de anomalías se convirtió en una avalancha de contradicciones del modelo de utilidad esperada.

### 4.1. Preferencia, transitividad e invariancia de procedimiento: transgresiones comportamentales

En los estudios comportamentales, dos principios de la toma de decisiones estrechamente relacionados resultan transgredidos reiteradamente, pese al hecho de que deberíamos «conocerlos mejor». Tanto la transitividad como la invariancia de procedimiento son distintivos inamovibles del modelo de utilidad esperada, aunque los ignoremos.

### 4.1.1. Transitividad

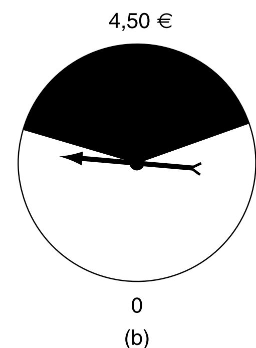
Si una bola roja es mayor que una bola amarilla y la bola amarilla es mayor que una verde, entonces la bola roja es mayor que la verde. Este es el principio de transitividad, el cual sostiene que si una relación de «es mayor que» se mantiene entre un primer y un segundo elemento y entre el segundo elemento y un tercero, entonces también se debe mantener entre el primer elemento y el tercero. (Este principio se ha mencionado antes).

La transitividad entre preferencias tal y como se expresa al hacer una elección es quizás el principio más fundamental de una elección racional: si prefiero a X sobre Y y a Y sobre Z, entonces deberé preferir a X sobre Z. Si preferimos el pescado al pollo y nos gusta más el pollo que un filete, no elegiremos un filete antes que un pescado; si las personas manifestaran habitualmente una pauta de elecciones semejante, podrían convertirse en «máquinas de hacer dinero» para los vendedores que ofrecieran secuencias de opciones con un precio extra en cada transacción. ¿Quiere asistir a un concierto de los Rolling Stones? Bien, aquí tiene una entrada por 50 €. ¿Prefiere escuchar a Madonna? Bien, puedo cambiarle la entrada de los Rolling Stones por una de Madonna con un sobreprecio de 10 €. Un momento, ¿quien le gusta de verdad es Eminem? Estupendo, devuélvame la entrada de Madonna y deme 10 € y tendrá una para Eminem. ¿Contento ahora? ¡Magnífico! ¿Y ahora, quiere escuchar a los Rolling Stones? No hay problema, le cambio la entrada de Eminem por una para los Rolling Stones con el sobreprecio de costumbre y así cuantas veces quiera...

Sin embargo, existen muchas demostraciones de laboratorio de la intrasitividad de las preferencias en la toma de decisiones humana. En uno de estos estudios, los sujetos tenían que elegir entre pares de juegos como los que se muestran en la Figura 9-8 (Tversky, 1969). Las probabilidades de ganar cambiaban ligeramente (en unidades de 1/24) entre juegos adyacentes. Al realizar sus elecciones, los sujetos habitualmente

| Juego | Probabilidad de ganar | Ganancia | Valor esperado |
|---|---|---|---|
| A | 7/24 | 5,00 | 1,46 |
| B | 8/24 | 4,75 | 1,58 |
| C | 9/24 | 4,50 | 1,69 |
| D | 10/24 | 4,25 | 1,77 |
| E | 11/24 | 4,00 | 1,83 |

(a)




(b)

**FIGURA 9-8** Juegos que producen elecciones intransitivas

(a) A los sujetos se les dio a escoger pares de estos juegos a los que les gustaría jugar haciendo girar una ruleta (b). Ya que las cantidades de las ganancias eran fáciles de comprender, las cantidades rigieron las elecciones de estos pares y acorde a ello los sujetos prefirieron el juego con ganancias más altas en cualquier apuesta *adyacente*. Ahora bien, los juegos se habían diseñado de un modo ingenioso, de manera que según se incrementaba la ganancia (de 4 € a 5 €), las probabilidades disminuían (de 11/24 a 7/24). Así pues, la discrepancia entre el valor esperado de la apuesta de 4 € y el de la apuesta de 5 € era espectacular (1,83 € frente a 1,46 €). Frente a una elección entre apuestas *extremas*, los sujetos invirtieron el orden de preferencia que implicaban sus elecciones de pares y eligieron la apuesta de 4 € (11/24) antes que la de 5 € (7/24) —y mostraron intransitividades consecuentes, irracionales—.

(Tversky, A. (1969). The intransitivity of preferences. *Psychological Review, 76,* 31; 48, Tabla 1 y Figura 1. © *American Psychological Association*. Reimpreso con autorización).

ignoraban estas diferencias y basaban sus decisiones tan solo en el importe de los premios; así elegían E sobre D, D sobre C, C sobre B y B sobre A. Pero cuando se emparejaban juegos que estaban muy alejados en el orden de presentación, la diferencia de probabilidad era mucho mayor, como lo era la diferencia resultante de los valores esperados. En este caso, un sujeto representativo prefería A sobre E, con lo que violaba la regla de la transitividad. Los sujetos, que eran presos de una penitenciaría, estaban muy motivados; jugaban para ganar dinero y cigarrillos, bienes muy apreciados en prisión. Al parecer entendían el principio de transitividad en abstracto, pero la mayoría no se dieron cuenta de que lo habían transgredido al hacer sus elecciones y muchos de ellos negaban vehementemente haberlo hecho.

### 4.1.2. Invariancia de procedimiento

Dos formas de hacer la misma pregunta sobre las preferencias deberían dar lugar a la misma respuesta —éste es el principio de **invariancia de procedimiento**—. Por ejemplo, se puede pedir a las personas que indiquen sus preferencias eligiendo entre dos opciones: «¿Cuál de estos dos juegos prefiere jugar?», o bien se les puede preguntar «¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por tener una oportunidad de jugar a cada uno de estos juegos?». Es de suponer que cualquier juego que aparente valer más dinero debería preferirse en una elección entre dos. No obstante, la invariancia de procedimiento se incumple constantemente bajo ciertas condiciones. Consideremos una elección entre el siguiente par de juegos:

*Juego 1 (apuesta P)*. Probabilidad de 8/9 de ganar 4 € o nada.
*Juego 2 (apuesta S)*. Probabilidad de 1/9 de ganar 40 € o nada.

Cuando se pregunta qué juego se prefiere jugar, la mayoría de los sujetos eligen la apuesta *P*; parece que centran su atención en la probabilidad de la ganancia y eligen el juego que ofrece una mayor probabilidad de ganar. Pero cuando se les pide que fijen un precio de venta para los juegos («Supongan que son los propietarios de los derechos de estos juegos. ¿Por cuánto venderían cada uno de ellos?»), la mayoría de la gente fija un precio más alto para la apuesta *S* que para la *P*. En este caso, el importe de la ganancia es más importante que la probabilidad de que suceda. La instrucción de fijar un precio, aparentemente dirige la atención de los sujetos en primer lugar a los dos resultados (40 € y 4 €) y sólo entonces ajustan sus precios al alza o la baja conforme a la probabilidad. Estos ajustes son habitualmente insuficientes para reflejar la situación matemática real; están muy sesgados por el valor inicial establecido, el valor de «ancla» que considera básicamente la diferencia entre las ganancias y no la probabilidad de cada una. Así pues, el ajuste a la baja de los 40 € anclados en la apuesta *S* no alcanza el valor ajustado al alza de los 4 € correspondientes a la apuesta *P*.

Esta inversión de las preferencias es una contradicción flagrante de cualquier modelo que pretenda demostrar una preferencia de ordenación consistente mediante métodos de evaluación exclusivamente racionales. Los resultados originales incluyeron una réplica de un casino con jugadores que apostaban su propio dinero (Slovic y Lichentstein, 1979). Sin embargo, algunos economistas estaban tan seguros de que el efecto era falso que llevaron a cabo 11 variaciones en el método original para probar que la inversión de preferencias sólo se puede producir bajo condiciones de laboratorio inusuales (Grether y Plott, 1979). Para su sorpresa, también encontraron inversión de las preferencias en sus estudios y concluyeron que este fenómeno es un obstáculo

fundamental para considerar que la toma de decisiones humana es totalmente racional. En estudios posteriores se ha demostrado una inversión de las preferencias en mercados experimentales donde los sujetos pueden negociar juegos unos con otros. Incluso se ha encontrado que el efecto se puede explotar para sonsacar dinero a los sujetos inversores (Berg *et al.,* 1985; Knez y Smith, 1987).

## 4.2. Racionalidad, hasta cierto punto

Al examinar los términos de los estudios de elección de juegos no es difícil ver por qué, en algún punto, el modelo de utilidad esperada falla: nuestros cálculos no son perfectos y en este tipo de elecciones puede haber un gran número de cálculos. La intrasitividad y la inversión de preferencias pueden ser consecuencias de nuestra limitación en los sistemas de atención y de memoria operativa. El modelo de utilidad esperada es tanto racional como descriptivo de la conducta sólo cuando hay objetivos bien definidos en situaciones sencillas (Chater *et al.,* 2003), y el modelo no apela a las capacidades cognitivas que podrían necesitarse para llevar a cabo los cálculos de la utilidad esperada subjetiva de todas las opciones que se consideran. Puesto que es obvio que se necesita una considerable capacidad de procesamiento de la información para abordar esos cálculos, una táctica teórica frecuente ha sido asumir que las personas son tan racionales como pueden serlo *dentro de* los límites de nuestra capacidad de atención, memoria operativa y control ejecutivo.

### 4.2.1. Racionalidad ligada y el algoritmo de satisfacción

Herbert Simon, psicólogo y economista que consiguió un Premio Nobel, propuso la idea de la *racionalidad ligada*; esto es, procesos de elección que son tan racionales como lo pueden ser, dadas las limitaciones cognitivas respecto a la cantidad de información que podemos procesar (Simon, 1955). Sugirió que nuestros sistemas de procesamiento de la información desarrollan estrategias adaptativas que proporcionan un equilibrio entre el esfuerzo cognitivo de buscar y procesar la información y la elección de la mejor alternativa en términos absolutos. Describió tal estrategia como **satisfactoria**, un método que no forzosamente encuentra la mejor de todas las posibilidades, sino una que es lo suficientemente buena para cumplir los deseos de quien toma la decisión (Simon, 1955).

La satisfacción es un *algoritmo*, una fórmula «paso a paso» para tomar una decisión. Supongamos que estamos buscando piso. En primer lugar, determinaremos qué características de un apartamento son importantes para nosotros (alquiler, distancia a la universidad, número de habitaciones y así sucesivamente). Después, estableceremos criterios de aceptabilidad para cada atributo importante (no más de un tercio de nuestros ingresos, la distancia a cubrir, tres habitaciones, etcétera). Finalmente, consideraremos las opciones disponibles, de una en una hasta que encontremos una opción que es «lo suficientemente buena» en cuanto a los atributos importantes, y dejaremos de buscar. Ganará la primera que sea satisfactoria —que cumpla nuestros requerimientos mínimos— en todos los aspectos. Repárese en que este proceso no llevará a elegir el apartamento ideal (a no ser que seamos realmente muy afortunados), pero nos proporcionará lo que es importante para nosotros y nos ahorrará mucho tiempo.

Los procesos cognitivos que se precisan para lograr la satisfacción son muy diferentes de los que se necesitan para el cálculo de la utilidad esperada y por lo general

requieren mucho menos esfuerzo. La satisfacción produce buenos resultados, aunque con frecuencia no sean óptimos, y está sesgada por el orden en el que se buscan las posibles opciones. Aun así, una gran cantidad de datos procedentes de experimentos y de estudios de campo indican que las estrategias de satisfacción aportan una descripción más válida de la conducta cotidiana de toma de decisiones que el modelo de utilidad esperada. Como consumidores, a menudo elegimos en función de la satisfacción. Sabemos que si seguimos buscando un apartamento durante una semana o un mes, es bastante probable que encontráramos uno que nos gustara más. En vez de eso, en tanto que consumidores, por lo general dejaremos de buscar cuando encontremos la opción «suficientemente buena» debido a los costes prohibitivos en tiempo y esfuerzo de seguir buscando. Sencillamente, no merece la pena emplear más esfuerzo para mejorar un poco el resultado. De hecho, quien busque de forma obsesiva las soluciones óptimas en el ambiente comercial moderno podría ser calificado de inadaptado si no directamente de irracional (véase el recuadro *Debate*).

### 4.2.2. La caja de herramientas cognitiva: cómo elegimos el modo en que elegimos

La satisfacción es una estrategia práctica, fiable y realista desde el punto de vista computacional para la toma de decisiones en los seres humanos; es también la única por la cual parece ser que las personas equilibran el esfuerzo cognitivo y lo deseable del resultado. Otra estrategia, por ejemplo, es la **eliminación por aspectos**, que evalúa sucesivamente una posible elección en cuanto a un determinado número de atributos, eliminando las alternativas que no cumplen los criterios que para cada atributo tiene la persona que toma la decisión. Por ejemplo, supongamos que queremos comprar un coche. La estrategia es la siguiente: en primer lugar, hemos de decidir qué atributos de las diferentes opciones son las más importantes para nosotros (coste, color, tracción a las cuatro ruedas, etc.), después compararemos las diversas opciones en función del atributo que consideremos más importante y desecharemos aquellas que son significativamente peores en este aspecto. Después elegiremos el segundo atributo de mayor importancia y repetiremos la operación de comparación y descarte. Continuaremos con el proceso hasta tener una opción ganadora.

Simon (1955) y otros investigadores han imaginado un sistema cognitivo con una «caja de herramientas» que contiene este tipo de estrategias, así como cálculos de utilidad. Estos elementos se ponen en juego a medida que se requieren para resolver los problemas intelectuales de cada día. Algunas de estas «herramientas» son algoritmos de cálculo aprendidos mediante instrucción, tales como las capacidades aritméticas y las estrategias de decisión social (por ejemplo, imitando las elecciones de un experto); otras son idiosincrásicas, basadas en las experiencias de aprendizaje personales de quien toma las decisiones. Cuando nos encontramos ante un problema intelectual, seleccionamos o creamos un algoritmo para resolverlo a partir de los procedimientos existentes en nuestra «caja de herramientas cognitiva». Otras «herramientas» que tenemos disponibles son las **heurísticas**[1], reglas generales simples y efectivas que funcionan bien en la mayoría de las situaciones.

[1] Estimaciones o reglas no formales para conseguir dar respuesta a un problema. Estrategias de resolución de problemas que implican elegir las opciones más probables del conjunto de alternativas posibles (*N. del T.*).

DEBATE

## ¿Somos los seres humanos animales racionales?

La mayoría de los economistas, algunos filósofos y unos cuantos psicólogos (véase, por ejemplo, J. R. Anderson, 1990) discuten que seamos esencialmente racionales. Por ejemplo, un modelo de utilidad esperada para la elección es una buena hipótesis sobre cómo pensarán y se conducirán los seres humanos cuando están bien informados. Una versión del debate compara el rendimiento humano con los cálculos de los modelos de la teoría de la probabilidad y de la lógica: éstas son las mejores hipótesis a las que ha llegado nuestra civilización respecto a lo que significa pensar de una manera racional. En este punto, parece haber pocas dudas de que a menudo estamos lejos del estándar racional. Las muchas demostraciones que aportaron Tversky y Kahneman (1974) de transgresiones de la lógica y de la teoría de la probabilidad han tenido una enorme influencia a la hora de convencer a la mayoría de los científicos de que los seres humanos no somos fundamentalmente racionales —al menos, según una definición de libro de texto de lo que es la «racionalidad teórica» (Harman, 1996)—.

Sin embargo, el debate no es tan simple. Cuando las apuestas son elevadas y las personas están bien informadas y tienen tiempo para aprender de su entorno, la racionalidad es una buena hipótesis de partida sobre cómo se comportarán. Los economistas han defendido este punto de vista desde hace tiempo y señalan que muchas paradojas racionales —demostradas, entre otros, por Allais, Ellsberg, Tversky y Kahneman— parecen disminuir cuando suben las apuestas y quienes tienen que resolver un problema están bien informados. Valiéndose de un argumento relacionado, el psicólogo Gerd Gigerenzer ha sido un eficaz defensor del concepto de «racionalidad ecológica», arguyendo que los juicios críticos rápidos y las decisiones heurísticas en los que nos basamos están adaptados a entornos importantes y específicos y que en ocasiones superan a los cálculos teóricamente racionales —y todo ello con un pequeña inversión cognitiva—.

Otra complicación en el debate sobre la racionalidad es que cualquier análisis ha de postular los objetivos de quien toma la decisión: ¿Qué es lo que intenta maximizar quien toma las decisiones? Las evaluaciones de la racionalidad requieren mucho más razonamiento que la simple demostración de que un sujeto comete errores lógicos o estadísticos. La cuestión se complica por el hecho de que las personas quieren maximizar muchos más objetivos que los meramente egoístas (meta que es la única considerada en muchas discusiones sobre racionalidad). En la actualidad está bien establecido que para el que toma una decisión son importantes muchos valores más allá de los intereses personales: el altruismo, la justicia, la reciprocidad y otros. Los investigadores, de hecho, pueden crear ambientes experimentales en miniatura, minimizar los motivos no egoístas y dar a los sujetos tiempo suficiente para conocer el entorno antes de comprobar si la conducta es la óptima. Estos análisis se han hecho con especies no humanas y han llevado a la conclusión general de que muchas especies no humanas están notablemente bien adaptadas a sus nichos ambientales (Krebs y Davies, 1997).

En el presente, podríamos decir que la mejor conclusión de las investigaciones comportamentales es que las personas frecuentemente no logran alcanzar los estándares de la «racionalidad teórica» especificados por la lógica, la teoría de la probabilidad y otras similares. Sin embargo, el campo sigue aún abierto a respuestas referentes a la «racionalidad práctica» (racional para algunos contextos y objetivos). Nuestro mejor juicio es que la evolución y la cultura nos han preparado para hacer las cosas casi del mejor modo posible en muchos contextos (especialmente en lo que atañe a decisiones primordiales, de supervivencia, relativas a la dieta, la elección de hábitat y la elección de con quién asociarnos y en quién confiar). Pero, dado que parece que los seres humanos remodelamos nuestro entorno frecuentemente (pensemos en los recientes cambios en los mercados financieros y en los consumidores que ha causado el auge de Internet), no es probable que seamos por completo «racionales en la práctica», e incluso puede que no tengamos las capacidades de aprendizaje necesarias para adaptarnos a ciertos ambientes modernos artificiales, pero muy importantes.

El modelo del *agente de decisiones adaptable* se basa estos principios (Payne *et al.*, 1993). En este modelo, la «caja de herramientas cognitivas» para la toma de decisiones incluye la satisfacción y otros varios procedimientos prácticos pero no óptimos, así como la ecuación de la utilidad esperada teóricamente óptima. La asunción funda-

mental del modelo es que si las personas son adaptables, su elección de estrategia se basa en considerar de un modo razonable, quizás incluso racional, el equilibrio entre el esfuerzo cognitivo y la facilidad de ejecución, el tiempo y las consecuencias. Las decisiones muy importantes (¿debo comprar este coche?, ¿me debo mudar a Chicago?) se manejan con herramientas «más costosas» —aquellas con un coste cognitivo más alto— que darán lugar a decisiones casi óptimas; las decisiones menos importantes (¿Alquilo para esta noche la película de *Batman* o la de *Rambo IV*? ¿Me compro un ordenador *Dell* o uno *Gateway*?) se resuelven con herramientas heurísticas generales «más económicas».

Nuestra elección entre algoritmos o heurísticas es adaptable: confiamos en estrategias que satisfacen nuestras necesidades en un momento dado y sacan el máximo provecho de las disposiciones específicas del entorno actual (Gigerenzer *et al.,* 1999; Payne *et al.,* 1993). Por ejemplo, Gerd Gigerenzer ha demostrado que podemos realizar juicios sorprendentemente exactos basándonos tan solo en una pequeña cantidad de información, si es que conocemos la información correcta. Así pues, la hipótesis que nos interesa es que la experiencia nos «sintoniza» con las señales más importantes de nuestro entorno, permitiéndonos así basarnos en juicios sencillos, no obviamente óptimos, y elegir estrategias. Estas estrategias, llamadas **estrategias «rápidas y frugales»**, suelen operar igual de bien que algoritmos racionales que requieren más esfuerzo. Además, las estrategias «rápidas y frugales», adaptables, proporcionan una descripción más válida de la conducta de toma de decisiones por parte de seres humanos que el modelo de utilidad esperada.

Como hemos visto, incluso cuando se elige entre juegos a desarrollar en laboratorio, los sujetos no suelen hacer un cálculo de utilidades. En vez de ello, se centran sólo en una (o unas cuantas) de las particularidades de los juegos (la probabilidad de ganar o la cantidad que arriesgan) e ignoran otras, lo que lleva a la intransitividad y la preferencia inversa en ciertos ambientes de laboratorio. Diversos estudios han puesto de manifiesto que muchas tomas de decisión en laboratorio relacionadas con estímulos de juego siguen un proceso irracional basado en estrategias de procesamiento de la información específicas, tales como la satisfacción y la eliminación por aspectos.

## 4.3. Efectos de encuadre y teoría prospectiva

En la teoría tradicional de la utilidad esperada, el modo en el que se describe la elección es inadecuado. Este principio, conocido como *invariancia descriptiva,* implica que un problema de decisión descrito por medio de asertos diferentes pero lógicamente equivalentes debería, aun así, conducir a la misma elección. Adviértase que no se da tal invariancia en el caso de la percepción humana: una sola escena visual se puede visualizar desde diferentes perspectivas, lo que conduce a diferentes representaciones mentales y a diferentes acciones. Lo mismo sucede en las situaciones que afrontan quien toma una decisión. Consideremos los siguientes problemas (Kahneman y Tversky, 1982). ¿Qué preferiríamos en cada caso?

**PROBLEMA 1.** Acabamos de ganar 200 €. Ahora el casino nos ofrece la posibilidad de elegir entre (A) una ganancia segura de 50 € o (B) una probabilidad de 0,25 de ganar 200 € con una probabilidad de 0,75 de no ganar nada.

**PROBLEMA 2.** Acabamos de ganar 400 €. Esta vez el casino nos ofrece la posibilidad de elegir entre (C) una pérdida segura de 150 € o (D) una probabilidad de 0,75 de perder 200 € con una probabilidad de 0,25 de no perder nada.

A la mayoría de los sujetos le gusta la opción A en el primer problema y la opción D en el segundo. Esto sigue la pauta de que las personas suelen tener aversión al riesgo cuando se les ofrecen probabilidades moderadas de ganancia, pero buscan el riesgo cuando se les ofrecen probabilidades moderadas de pérdida, tal y como se comentó anteriormente. Pero démonos cuenta de que los premios en las opciones A y C son idénticos (en cada uno de ellos terminamos con 250 € seguros) y lo mismo ocurre con las opciones B y D (en cada una de ellas, en el 75% de las ocasiones terminaremos con 200 € y en el 25% de las ocasiones, con 400 €). El cambio en la descripción ha afectado a la elección de los sujetos, una trasgresión de la invariancia descriptiva. Los sujetos vieron el problema 1 desde una «perspectiva de ganancia» y el problema 2 desde una «perspectiva de pérdida». Demostraciones como ésta demuestran la importancia de los **efectos de encuadre**, la influencia de las diversas maneras en las cuales se puede enfocar un problema. Los efectos de encuadre han sido desde hace tiempo una preocupación para los encuestadores, ya que las respuestas a las preguntas de las encuestas dependen de la manera exacta en la que se plantea la pregunta. «¿Hasta que punto apoya usted el plan del presidente de...?» obtiene habitualmente una estimación muy diferente de apoyo que la pregunta equivalente «¿Hasta qué punto se opone usted al plan del presidente de...?» (Tourangeau *et al.*, 2000). Las respuestas a los anuncios también son sensibles al encuadre: una hamburguesa se vende mucho menos cuando se describe como 90% magra que cuando se describe con el 10% de contenido graso.

La demostración más famosa de este tipo implica un hipotético escenario médico (Tversky y Kahneman, 1981):

**PROBLEMA 1.** La nación se está preparando para el brote de una enfermedad que se espera mate a 600 personas. Las autoridades sanitarias han propuesto dos programas alternativos para combatir la enfermedad, ¿cuál apoyaría usted?

**PROGRAMA A.** Se salvarán 200 personas.

**PROGRAMA B.** Hay una probabilidad de un tercio de que se salven 600 personas y una probabilidad de dos tercios de que no se salve ninguna.

De hecho, los dos programas tienen el mismo valor esperado (200 personas se salvan), pero debido a la tendencia a tener aversión al riesgo en cuanto a las ganancias, la mayoría de los sujetos eligen el programa A. Consideremos ahora otro problema:

**PROBLEMA 2.** La nación se está preparando para el brote de una enfermedad de la que se espera que mate a 600 personas. Las autoridades sanitarias han propuesto dos programas alternativos para combatir la enfermedad, ¿cuál apoyaría usted?

**PROGRAMA C.** Morirán 400 personas.

**PROGRAMA D.** Hay una probabilidad de un tercio de que no muera nadie y una probabilidad de dos tercios de que mueran 600 personas.

En el problema 2 la mayoría de los sujetos elige el programa D, conforme a la tendencia a buscar el riesgo cuando hay pérdidas relacionadas. De nuevo, los programas A y C tienen el mismo resultado —400 muertos y 200 supervivientes—. De forma similar, los programas B y D tienen el mismo resultado —se ha cambiado el significado de las palabras, pero las probabilidades y los resultados son los mismos en los dos—. Sin embargo, hay un cambio muy marcado en la elección de los sujetos al pasar del problema 1 al problema 2. Efectos de encuadre como éstos no se restringen a enigmas artificiales de laboratorio: los investigadores han replicado dichos resultados con médicos en ejercicio a los que se les pidió elegir entre tratamientos médicos, presentando los resultados de los tratamientos en términos de proporción de supervivencia (ganancias) frente a proporción de mortalidad (pérdidas) (Mc Neil *et al.,* 1982).

Un precepto fundamental de la Psicología cognitiva es que nuestras acciones están determinadas por nuestra representación mental de las situaciones, no directamente por las situación en sí misma. La implicación de la investigación en los efectos de encuadre es que la toma de decisiones, al igual que cualquier actividad cognitiva, depende de nuestro punto de vista de la situación a la que nos enfrentamos. Nuestra percepción de esa situación es un determinante primordial de nuestra conducta (Hastie y Pennington, 2000). Este principio cognitivo de la representación es un supuesto básico de la **teoría prospectiva**[2], en el presente la teoría más influyente de la toma de decisiones ante el riesgo y la incertidumbre (Kahneman y Tversky, 1979; Tversky y Kahneman, 1992).

La teoría prospectiva propone que la primera etapa en la toma de decisiones es discernir las probabilidades que se tiene enfrente encuadrando los términos de la decisión. El hecho de encuadrar implica simplificar y combinar ciertas cantidades y evaluar las pérdidas y ganancias probables comparándolas con un **punto de referencia**. Este punto de referencia, o ancla, suele ser la situación actual, antes de que se tome la decisión. Un supuesto innovador de la teoría prospectiva es que dicho punto de referencia no es fijo, sino que se actualiza frecuentemente. Así pues, la teoría prospectiva explica el efecto de donación —el valor añadido que conferimos a algo que tenemos al compararlo con algo que todavía no tenemos— mediante la puesta al día de nuestro punto de referencia cuando se obtiene una nueva posesión. Pensemos en un viaje de una semana a Las Vegas. Cuando entramos en el casino el primer día, nuestro punto de referencia es la suma que hemos decidido jugar. Supongamos que ganamos 250 € ese día. Al día siguiente, cuando volvemos a las mesas, es probable que nuestro nuevo punto de referencia sea 250 € mayor —la suma de nuestra apuesta inicial más los 250 € de ganancia—. Por supuesto, después de las alzas y bajas de una semana de juego, en nuestro último día en Las Vegas nuestro punto de referencia puede haber vuelto a ser la cantidad de la apuesta inicial del primer día y podemos aceptar riesgos con la esperanza de volver a ganar o, al menos, quedar a la par cuando dejemos la ciudad. A lo largo de una semana llena de momentos de tensión, nuestro punto de referencia para las decisiones sobre el juego se ha desplazado, encuadrando así los resultados que esperamos y la experiencia.

De acuerdo con la teoría prospectiva, una vez que se han representado mentalmente los valores y los pesos de decisión —nuestra estimación subjetiva de las probabilidades— para las posibilidades que se consideran, se realiza un cálculo del valor esperado para cada posibilidad, combinando los valores y los pesos de decisión en una

[2] O teoría de las probabilidades o posibilidades (*N. del T.*).

evaluación resumida (véanse las Figuras 9-3 y 9-4). Aunque el cómputo central en la teoría prospectiva es directamente análogo al cálculo de la utilidad esperada, tanto el efecto de encuadre como los pesos de decisión infringen los principios matemáticos y económicos de la racionalidad. La teoría prospectiva describe muchas de las pautas comportamentales observadas en la toma de decisiones, pero no aporta una explicación específica de la intransitividad y la inversión de preferencias.

## 4.4. Papel de las emociones en la valoración: la paradoja de Allais

Hay otra fuente que por sí misma proporciona más dificultades al modelo de utilidad esperada: la emoción. No es de sorprender que las emociones afecten a la toma de decisiones —una gran cantidad de experiencias anecdóticas (quizás incluyendo alguna de las nuestras) dan fe de las muchas malas decisiones que se toman en momentos de ira o de euforia—. La emoción también ha jugado un papel en la teoría de las decisiones desde los primeros días de la disciplina: los economistas comenzaron asumiendo que la toma de decisiones se realiza con el fin de conseguir objetivos, y que los objetivos son, o bien esencialmente emocionales («la búsqueda de la felicidad»), o bien se asocian estrechamente con emociones (especialmente, con la culpabilidad, el arrepentimiento, el regocijo o la decepción). Existía, también, una noción general de que en las emociones suele interferir la toma racional de decisiones. Puede que decidamos ahorrar dinero para la jubilación, pero nos distraemos por impulsos momentáneos y gastamos nuestros ahorros en entretenimientos frívolos; podemos decidir hacer dieta o resistir la seducción sexual, pero sucumbimos a tentaciones en momentos de antojo o de pasión. En el enfoque moderno, sin embargo, las emociones juegan un papel tanto de adaptación como de alteración en el proceso de toma de decisiones (DeSousa, 1927; Frank, 1988; Rottenstreich y Shu, 2004). Una demostración pionera, la *paradoja de Allais,* señaló el papel del arrepentimiento anticipado. La **paradoja de Allais** es la contradicción aparente que se observa cuando añadir un acontecimiento idéntico a cada alternativa tiene el efecto de cambiar las preferencias de quien toma una decisión (Allais, 1953; 1979). ¿Qué haríamos en cada una de las siguientes situaciones?:

*Situación 1*. Elegir entre:
*Juego 1*. Una ganancia cierta de 500.000 €
*Juego 2*. Una probabilidad de 0,10 de ganar 2.500.000 €, una probabilidad de 0,89 de ganar 500.000 € y una probabilidad de 0,01 de no ganar nada.

*Situación 2*. Elegir entre:
*Juego 3*. Una probabilidad de 0,11 de ganar 500.000 € y una probabilidad de 0,89 de no ganar nada.
*Juego 4*. Una probabilidad de 0,10 de ganar 2.500.000 € y una probabilidad de 0,9 de no ganar nada.

La mayoría de los sujetos prefieren el juego 1 al juego 2. Aun cuando la probabilidad en el juego 2 de hacerse rico o de conseguir una cantidad sustancial de dinero es muy pequeña (0,01), el arrepentimiento potencial por la pérdida de la cantidad mayor se hace tan grande que la mayoría de las personas eligen la seguridad de los 500.000 €. Los sujetos también prefieren el juego 4 al juego 3: en esta situación, la gran diferencia en las consecuencias (500.000 € frente a 2.500.000 €) predomina sobre

la misma pequeña diferencia entre las probabilidades de ganar las dos cantidades (0,11 − 0,10 = 0,01)

Aunque esta paradoja se trató como una anomalía menor en los hábitos de toma de decisiones cuando fue descrita por el Premio Nobel Maurice Allais hace más de cincuenta años, ha establecido alguna de las nuevas direcciones más importantes en la investigación actual de la toma de decisiones que están explorando los papeles específicos de las emociones en la toma de decisiones. Probablemente, la mejor interpretación de lo que ocurre con las elecciones en la paradoja de Allais es que quien toma la decisión al enfrentarse con el primer par de juegos simplemente no puede dejar de pensar en la consecuencia distintivamente demoledora de acabar con nada o con 500.000 €. Este arrepentimiento anticipado conduce al que toma la decisión hacia el premio seguro. Sin embargo, en el segundo par de juegos, probablemente ambos terminarán en nada, con lo que ninguna de las consecuencias «se siente» como demoledora, y el que toma la decisión se decide por la posibilidad con el valor esperado más alto.

Este inocente par de elecciones —juego 1 y juego 4— contradice los supuestos fundamentales que subyacen al modelo de utilidad esperada. El juego 1 tiene un valor esperado de 500.000 € (1 × 500.000), mientras que el juego 2 tiene el valor esperado de 695.000 € es decir, (0,1 × 2.500.000) + (0,89 × 500.000). Así pues, la preferencia de la primera opción es, al contrario de lo que preconiza el modelo, para el juego que tiene el valor esperado *más bajo*.

Investigaciones posteriores han ampliado nuestra idea del papel que desempeña la emoción en el proceso de decisión. Se ha propuesto (Mellers, 2000; se pueden ver variantes de esta teoría en Bell, 1982, 1985; Loomes y Sugden, 1982) una teoría de *decisión por afecto* en la cual las emociones anticipadas, en particular el arrepentimiento y la decisión, reemplazan a las utilidades como portadoras del valor. Se ha realizado una gran cantidad de estudios sobre los hábitos confusos que manifestamos al evaluar los riesgos personales. ¿Por qué tenemos mucho más miedo de volar que de conducir durante la misma distancia, cuando todos sabemos que conducir es mucho más peligroso? Parece ser que podemos entender estas reacciones aparentemente irracionales ante peligros naturales y sociales en términos de «la cabeza contra el corazón» —donde suele ganar el «emotivo corazón» (Slovic *et al.,* 2002)—.

Una serie de ingeniosos experimentos ha demostrado las diferencias en la valoración de los resultados cargados de emoción frente a los monetarios (véase, por ejemplo, Rottenstreich y Hsee, 2001). En un estudio, se pidió a los sujetos que eligieran entre las posibilidades con la «oportunidad de coincidir y besar a su estrella de cine favorita» o 50 € en metálico. Cuando los resultados eran seguros, el 30% de los sujetos eligieron la posibilidad de un beso. Pero, cuando sólo había una posibilidad de 0,01 de recibir el dinero, el 65% eligió la posibilidad de un beso. Para probabilidades intermedias, el porcentaje que eligió el beso no varió mucho con la probabilidad actual. Los investigadores han replicado esta pauta con un viaje a Europa frente al pago de una tutoría universitaria y con descargas eléctricas frente a pérdidas monetarias. En cada caso, los resultados emocionales, al contrario que los prácticos, eran casi completamente insensibles a las variaciones en la probabilidad. Parece como si los estímulos cargados de emoción redujeran el impacto de la información sobre las probabilidades; como si los resultados cargados de emoción dirigieran la atención a las consecuencias, alejándolos de otras facetas de la situación (como se describió en el Capítulo 8). Así pues, la naturaleza de los resultados puede determinar si la información de la probabilidad influye o no en la elección. Esto es una interacción entre el valor y la probabilidad que va marcadamente en contra del modelo de utilidad esperada.

## 4.5. Papel de las emociones en la valoración: descuento temporal e inconsistencia dinámica

Comparados con otros animales, los seres humanos tenemos una marcada capacidad de retrasar la gratificación (Rachlin, 1989). Somos capaces de negarnos a nosotros mismos de forma deliberada el placer inmediato de un rico postre (a veces, siempre) porque sabemos que lo disfrutaremos mucho más mañana; podemos decidir sobrellevar un tratamiento médico doloroso porque sabemos que puede mejorar nuestro estado físico o prolongar nuestra vida. Pero también tenemos errores de autocontrol y parece que actuamos de forma contraria a intenciones claras de ahorro o abstención. En una ocasión nos comportamos como la hormiga prudente trabajadora de la fábula y en la siguiente como la cigarra autocomplaciente y perezosa. La conclusión general es que, aunque las personas son bastante eficaces actuando prudentemente al planificar el futuro, los planes mejor concebidos pueden caer presa de conductas impulsivas e irracionales cuando nos enfrentamos a tentaciones inmediatas. Tenemos tendencia a devaluar los resultados que ocurrirán en un futuro remoto y esta tendencia se conoce como **descuento temporal.**

Un método controlado para el estudio de estas anomalías de la conducta humana precisa que los investigadores midan cuántas personas valoran las gratificaciones inmediatas en vez de las postergadas. En un experimento prototipo de descuento temporal se ofrecen opciones a los sujetos entre resultados inmediatos y resultados pospuestos. Sus pautas de elección revelan el valor relativo de por ejemplo, recibir 15 € ahora frente a recibir 15 € dentro de seis semanas. Un tipo específico de irracionalidad aparente ha surgido de estos estudios. Considere la siguiente elección: recibir 10 € inmediatamente frente a recibir 15 € dentro de seis semanas. La mayoría de los sujetos eligen la opción de los 10 € ahora —su reacción es casi visceral, están saboreando el uso que darán a los 10 €—. Consideremos ahora una elección que signifique las mismas cantidades de dinero pero que se recibirán en cinco o en seis semanas − 10 € dentro de 35 días o 15 € dentro de 42 días. Para la mayoría de los sujetos no hay duda; esperarán por los 15 €. ¿Por qué eligen de forma inversa? Este tipo de **inconsistencia dinámica** —preferencias invertidas de resultados idénticos en función del tiempo— es contrario a un análisis racional donde los modelos económicos estandarizados predicen consistencia. En estos modelos, aunque el valor de un cobro fijo (10 €) se espera que disminuya con el tiempo (como resultado del descuento temporal), no existe un punto de paso en el cual un resultado que se prefiere inicialmente intercambie su orden de preferencia con otro que no lo era. (Al igual que en nuestro ejemplo de los 10 € frente a los 15 €).

Una interpretación de la inconsistencia dinámica es que cuando un resultado es inmediato, nuestro sistema emocional controla nuestra conducta y nos conduce a elegir la gratificación que se encuentra disponible con carácter inmediato. Sin embargo, cuando la gratificación no está disponible de inmediato, nuestro sistema racional, más frío, toma el control y elegimos sabiamente (Loewenstein, 1996; Thaler y Cefrin, 1981). Esta interpretación es consistente con nuestra experiencia subjetiva cuando tenemos delante un apetitoso postre, la oportunidad de holgazanear durante el ejercicio físico, una ocasión para un encuentro sexual o dinero fácil (como en la elección experimental que se ha descrito anteriormente). También tiene sentido en la experiencia común de tener dos mentes en competencia cuando hay que elegir entre la tentación y una línea prudente de acción. También nos ayuda a entender por qué en ocasiones

recurrimos a estrategias de adquirir compromisos previos para «hacer lo que es mejor para nosotros» (por ejemplo, unirse a un «club de Navidad» para ahorrar).

Aunque el enfoque de los «dos sistemas» encaja bien en nuestras intuiciones, ha sido endiabladamente complicado comprobarlo con datos comportamentales. McClure y sus colaboradores (2005) informaron de una nueva prueba que combinaba medidas comportamentales y neurocientíficas. Los sujetos debían elegir entre premios monetarios inmediatos y aplazados en el tiempo mientras que se exploraban sus cerebros mediante RMf. La hipótesis era que cuando los dos premios posibles se retrasaban en el tiempo sólo debían activarse los sistemas deliberativos corticales mientras calculaban una solución más o menos racional al dilema de la elección. Sin embargo, cuando uno o ambos de los premios eran de carácter inmediato, un segundo sistema, emocional en este caso, debería estar también activo simultáneamente con el sistema cortical. Sus resultados proporcionaron un apoyo significativamente claro para la hipótesis de los «dos sistemas» (véase *Una visión más detenida,* más adelante).

Los resultados más importantes procedentes de los datos del estudio de neuroimagen fueron los de una activación diferencial de cuatro áreas del cerebro cuando se comparaban recompensas inmediatas con recompensas aplazadas: había más activación con las recompensas inmediatas en el estriado ventral, en la corteza orbitofrontal medial, en la corteza prefrontal medial y en la corteza cingulada posterior. Las tres primeras de estas áreas están relacionadas claramente con la emoción. Cuando se contemplaban tanto elecciones inmediatas como aplazadas, estaban activas áreas visuales y motoras (probablemente no relacionadas con el proceso de elección), junto con regiones de la corteza parietal derecha e izquierda, la corteza prefrontal dorsolateral derecha, la corteza prefrontal ventrolateral derecha y la corteza orbitofrontal lateral derecha. Aunque la asociación no es perfecta, las elecciones inmediatas activaron generalmente áreas del cerebro asociadas con las respuestas emocionales, mientras que las áreas asociadas con el razonamiento deliberado se activaron tanto para las elecciones entre parejas de resultados inmediatos como entre parejas de resultados retrasados. También es notable que las interpretaciones de los «dos sistemas» de decisiones morales y de elección de los consumidores han recibido asimismo apoyo procedente de pautas de activación diferencial semejantes (Greene *et al.,* 2001; McClure *et al.,* 2005b). Áreas límbicas y corticales diferentes se activan cuando la emoción juega un papel central en la decisión.

## 4.6. Juicios críticos ante la ambigüedad

Poco después de que se hubiera introducido el modelo de la utilidad esperada como la última descripción de la racionalidad, Daniel Ellsberg, en aquel tiempo un estudiante graduado, propuso un reto a sus presunciones sobre los juicios realizados frente de certidumbre. La **paradoja de Ellsberg** —la elección de la certeza frente a la ambigüedad aún cuando el resultado sea una pauta inconsistente de elecciones— se demuestra mediante elecciones realizadas con dos parejas de juegos en los cuales el resultado viene determinado por una tirada aleatoria de una urna que contiene bolas rojas, negras y amarillas. La urna contiene un total de 90 bolas, de las cuales 30 son rojas y las 60 restantes consisten en una mezcla de cantidades desconocidas de bolas negras y amarillas (véase la Figura 9-11). Por lo tanto, la probabilidad de obtener una bola roja es de 0, 333 y se desconocen las probabilidades de obtener una bola negra o una bola amarilla, o lo que es lo mismo, la probabilidad de obtener una bola de estos dos últi-

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

### Sistemas distintos de valoración de la recompensa inmediata y la aplazada

Uno de los estudios más sofisticados sobre los procesos de toma de decisiones hasta la fecha, que se basó en datos comportamentales y neurales, fue llevado a cabo por un equipo multidisciplinar de investigadores. Los resultados fueron comunicados por S. M. McClure, D. I. Labson, G. Loewenstein y J. D. Cohen en un documento del año 2005 titulado *«Separate Neural Systems Value Inmediate and Delayed Monetary Rewards», Science, 306,* 503-507.

**Introducción**

Los investigadores estaban interesados en probar la hipótesis de que las diferencias entre opciones realizadas con recompensas de carácter inmediato frente a recompensas retrasadas se deben al funcionamiento de dos sistemas de valoración independientes en el cerebro: un sistema de valoración visceral, emocional, frente a un sistema racional y deliberativo. Esta hipótesis se basaba en más de 50 años de investigación comportamental.

Los investigadores intentaban encontrar diferentes áreas de activación cerebral cuando se evaluaban recompensas inmediatas frente a recompensas aplazadas y, en particular, querían encontrar una relación entre la cantidad de activación del «cerebro emocional» y las preferencias por las recompensas inmediatas. La hipótesis implicaba que ciertas áreas del cerebro que se sabe están asociadas con las respuestas emocionales debían activarse específicamente cuando se consideran recompensas inmediatas.

**Método**

Se pidió a estudiantes de la Universidad de Princeton que eligieran entre pares de recompensas monetarias que habrían de recibirse inmediatamente o de forma aplazada en determinados intervalos (hasta de seis semanas en el futuro), mientras se les realizaba una exploración con RMf. Algunas de las recompensas podían ser pagadas de forma inmediata (como cupones regalo de Amazon.com), de modo que los sujetos estaban motivados para elegir de una forma cuidadosa que reflejara sus valoraciones reales de los premios. Se presentó a los sujetos parejas de opciones de cobros monetarios (por ejemplo, 25 € en una semana frente a 34 € en un mes); la recompensa más pequeña e inmediata se situó a la izquierda y la recompensa mayor y aplazada, a la derecha. Los estudiantes presionaban un botón para indicar su elección y, después de un pequeño descanso, se presentaba otro par de opciones.

Se aplicó la técnica de RMf para registrar la actividad cerebral durante los cuatro segundos precedentes a la respuesta con la elección y los 10 segundos siguientes. Las gráficas temporales que resumen la actividad en las áreas clave del cerebro se muestran en la Figura 9-9 (en el inserto a color) junto con imágenes cerebrales que indican qué áreas estaban activas.

**Resultados**

Los resultados de las pruebas de neuroimagen fueron claros. La Figura 9-9 muestra los resultados de las regiones del cerebro que estuvieron específicamente activas cuando se presentaba un resultado inmediato como una de las dos opciones en la pareja en la que realizar la elección. El estriado ventral, la corteza orbitofrontal media, la corteza prefrontal medial, la corteza cingulada posterior y el hipocampo posterior izquierdo mostraron una actividad significativamente más alta cuando se compararon opciones inmediatas con opciones de dos semanas o un mes de aplazamiento. Todas estas áreas son buenos candidatos para apoyar la hipótesis de los procesos emocionales. Existen seis áreas cerebrales adicionales que muestran una elevación significativa de su actividad cuando se están realizando las elecciones, independientemente

de que estén involucradas recompensas inmediatas o aplazadas. Algunas de estas áreas incluyen zonas motoras y perceptivas, y no es probable que estén asociadas con los procesos de elección *per se*. Pero otras, entre las que se encuentran la corteza orbitofrontal lateral, la corteza prefrontal ventrolateral y la corteza prefrontal dorsolateral, probablemente están relacionadas con procesos racionales deliberativos (véase el Capítulo 7) —éstas son las áreas «racionales», en contraposición con las áreas «emocionales» mencionadas anteriormente—.

Otro aspecto de este estudio a tener en cuenta es la relación existente entre los datos comportamentales y los cerebrales. La Figura 9-10, en el inserto a color M, muestra una clara activación diferencial de las regiones emocionales y racionales para las elecciones entre recompensas inmediatas y aplazadas —una mayor activación «racional» predice la elección de la opción aplazada—.

**Discusión**

Este trabajo es una elegante ilustración de cómo las medidas procedentes del estudio de neuroimagen pueden completar y mejorar el poder de los análisis comportamentales. No todas las colaboraciones entre lo comportamental y lo neural tienen el mismo éxito, pero en este caso contribuyeron los siguientes factores clave: (1) la disponibilidad de un análisis comportamental profundo del descuento temporal y (2) la especificación previa de los potenciales componentes neurales —específicamente, la asociación de los procesos emocionales con sistemas viscerales y emocionales y los procesos racionales con un sistema más cognitivo y deliberativo—.

mos colores es *ambigua*, puede ser cualquier valor comprendido entre 0.011 (uno entre 90) y 0.656 (59 entre 90).

Consideremos ahora los siguientes juegos basados en tiradas desde esta urna:

*Situación 1*. Elegir entre:
*Juego 1*. Se ganan 100 € si sale una bola roja y nada si la bola es amarilla o negra.
*Juego 2*. No se gana nada si sale una bola roja, se ganan 100 € si sale una bola negra y nada si sale una amarilla.

*Situación 2*
*Juego 1*. Se ganan 100 € si sale una bola roja o una amarilla y nada si sale una bola negra.
*Juego 2*. Se ganan 100 € si sale una bola negra o una amarilla y nada si sale una bola roja.

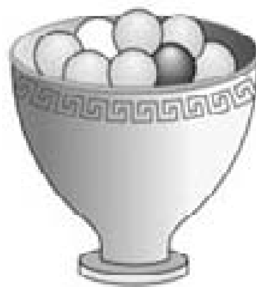


**FIGURA 9-11** La urna ambigua de Ellsberg

Daniel Ellsberg presentó a los sujetos de su investigación esta urna, que contiene bolas de tres colores diferentes. Se les dice a los sujetos la probabilidad exacta de obtener una bola roja (30 bolas rojas entre 90 bolas en total o lo que es igual $p_{roja} = 0{,}33$) (representadas aquí en gris), mientras que las probabilidades de obtener una bola amarilla (representadas en blanco) o una bola negra son ambiguas. Los sujetos saben que en total hay 60 bolas (entre 90, o $p_{amarilla\ o\ negra} = 0{,}67$), pero no saben las proporciones específicas.

La mayoría de los sujetos eligen el juego 1 en la primera situación y el 4 en la segunda. La razón es obvia: aun cuando existe una incertidumbre grande sobre lo que puede ocurrir, las personas prefieren la mayor precisión posible. En los juegos 1 y 4 es posible conocer las proporciones exactas de bolas ganadoras (0,33 y 0,67), mientras que hay mucha más ambigüedad sobre las proporciones en los juegos 2 y 3. Sin embargo, el modelo de utilidad esperada se infringe, tal como se puede ver con mayor claridad en la tabla de la Figura 9-12. En cada pareja de juegos existe un resultado común que debe ser ignorado: en la situación 1, no existe recompensa para las amarillas y en la situación 2 hay una recompensa de 100 € para las amarillas. Debido a que los remanentes en las entradas de la tabla (las columnas central y de la izquierda) son idénticos en las dos situaciones, la fuerte preferencia para el juego 1 en la situación 1 y para el juego 4 en la situación 2 contradicen el modelo de utilidad esperada que predice elecciones consistentes para los juegos 1 y 3 o los juegos 2 y 4.

Los fenómenos neuronales que subyacen a nuestras reacciones ante la ambigüedad se han seguido mediante imágenes de TEP (K. E. Smith *et al.,* 2002). Se presentaron a los sujetos juegos ambiguos tales como el de Ellsberg, al tiempo que juegos sin ambigüedad con una posibilidad de pérdida. Los investigadores encontraron que cuando se presentaban juegos no ambiguos con resultados de pérdida existía una activación de la corteza prefrontal (dorsomedial). Sin embargo, para todos los juegos ambiguos y los no ambiguos con resultados de ganancia, el sistema dorsomedial no se encontraba activo y sí lo estaba el sistema orbitofrontal (ventromedial). Otros estudios de neuroimagen así como estudios comportamentales en pacientes con daño cerebral han demostrado también que las regiones ventromediales juegan un papel clave en una persona que decide entre juegos (Rogers *et al.,* 1999a, 1999b). Estas mismas áreas ventromediales se han visto también implicadas en muchos estudios en los que se ha encontrado que juegan un papel destacado en relación con los factores emocionales en la toma de decisiones, lo que sugiere la importancia de estas áreas en la integración de los resultados y valores.

| | | Bolas en la urna | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 30 | 60 | |
| | | Rojas | Negras | Amarillas |
| Situación 1 | Juego 1 | 100€ | Nada | Nada |
| | Juego 2 | Nada | 100€ | Nada |
| Situación 2 | Juego 3 | 100€ | Nada | 100€ |
| | Juego 4 | Nada | 100€ | 100€ |

**FIGURA 9-12** La estructura subyacente a los juegos de paradoja de Ellsberg

Al igual que en la paradoja de Allais, algunas columnas discriminan entre los juegos de cada par, pero de modo constante, de modo que una persona juiciosa que haya preferido el juego 1 frente al juego 2 no tendría una razón para elegir el juego 4 frente al juego 3. En la columna 1, la diferencia entre el juego 1 y el juego 2 es idéntica a la diferencia entre el juego 3 y el juego 4; lo mismo en la columna 2 y en la columna 3. De ahí que, pese a haber diferencias para hacer una elección en cada par, las diferencias sean las mismas para cada columna dentro de un par y por lo tanto no haya razón para cambiar de una elección de 1 frente a 2, hecha en la situación 1, a una elección 3 frente a 4 en la situación 2.

Un conocimiento importante de nuestras reacciones ante la ambigüedad lo proporcionaron diversos investigadores que presentaron cada uno de los juegos de Ellsberg aislado y pidieron a los sujetos que apostaran dinero en ellos (Fox y Tversky, 1995). En estas ocasiones desaparecieron los efectos de la ambigüedad. Así pues la aversión a la ambigüedad aparece sólo cuando los juegos se consideran todos juntos, unos en el contexto de otros, como ocurre con las parejas de Ellsberg. Lo que importa es la ignorancia comparativa y no el sentido absoluto de la ambigüedad.

## 4.7. Juicios críticos sobre probabilidad ante la incertidumbre

El enfoque fundamental de la investigación inicial de los juicios realizados frente a la incertidumbre fue el siguiente: en situaciones en las cuales las probabilidades exactas no se dan explícitamente, ¿cómo es que nuestros juicios intuitivos sobre las probabilidades divergen de lo que prescribe la teoría matemática de las probabilidades? (Esta última nos dice el mejor modo de captar nuestras creencias sobre las posibilidades). Se han encontrado docenas de maneras en las cuales nuestros juicios infringen las leyes de la probabilidad (Gilovich *et al.,* 2002; Kahneman *et al.,* 1981). El mensaje esencial de esta investigación es que las personas no están dotadas naturalmente con intuiciones que sigan las leyes matemáticas de la teoría de la probabilidad. Más bien, cuando tratan con la incertidumbre se basan en las capacidades cognitivas para recuperar de la memoria, para realizar una evaluación por similitud y para imaginar las causas de los acontecimientos (Tversky y Kahneman, 1974). Por lo general, estos *juicios heurísticos* dan como resultado decisiones útiles, esto es, de adaptación. Pero bajo algunas condiciones, muestran preferencias en los juicios. Nuestros juicios en relación con las probabilidades frente a la incertidumbre se pueden relacionar con el rendimiento de nuestros sistemas perceptivos (Tversky y Kahneman, 1974). En la mayoría de los entornos cotidianos, nuestro sistema visual realiza un buen trabajo para producir modelos exactos del espacio geométrico a través del cual navegamos —pero esto no ocurre siempre. Las ilusiones visuales discutidas en el Capítulo 2 demuestran que el sistema visual no proporciona una representación perfecta de nuestro entorno—. Y al igual que sufrimos de ilusiones visuales, estamos sujetos a ilusiones de juicio.

Un tipo de ilusión de juicio se debe a los efectos de la *disponibilidad* de la información. Cuando tratamos de evaluar la probabilidad de que ocurra un acontecimiento en particular (la posibilidad de que enfermemos de gripe, de conseguir una cita con nuestra nueva colega o de tener un accidente aéreo), nos basamos frecuentemente en la facilidad con la cual se pueden recuperar ejemplares relevantes. Así, sustituimos la *facilidad del recuerdo* por una evaluación sistemática de la probabilidad del suceso. Esto puede que sea una estrategia efectiva *si* nuestra memoria nos diera registros imparciales de los acontecimientos que ocurren en nuestro entorno. Pero la memoria está influenciada por la viveza, la relevancia personal, la novedad y otros muchos factores; además, los medios de comunicación y el chismorreo cotidiano presentan un reflejo distorsionado de las frecuencias reales de los acontecimientos. Así, sobrestimamos la probabilidad de acontecimientos muy comentados, tales como peligros dramáticos, conductas negativas socialmente y acontecimientos familiares (por ejemplo, la proporción de norteamericanos que se gradúan en estudios superiores).

He aquí un par de demostraciones de la disponibilidad en el trabajo (basado en los estudios originales de Tversky y Kahneman, 1974). Se dijo a los sujetos que se ha-

bía estudiado la frecuencia de aparición de las letras en el idioma inglés. Se seleccionó un texto habitual y se registró la frecuencia relativa con la que aparecían las diversas letras del alfabeto en las posiciones primera y tercera de cada palabra. Se excluyeron las palabras con tres o menos letras. Consideremos la letra «K»: ¿en qué posición es más probable que aparezca dentro de una palabra, en la tercera o en la primera?

Si usted es como la mayoría de los sujetos, juzgará que la letra «K» es más probable que aparezca en la primera posición; pero, de hecho, es tres veces más probable que la letra «K» aparezca en la tercera posición. Es obvio que nos basábamos en la facilidad con la que puede recordar palabras que comienzan con «K», lo que es mucho más sencillo que recordar palabras que tienen dicha letra en la tercera posición. En otras palabras, hemos mostrado una *predilección por la disponibilidad*.

Veamos otro ejemplo: si se consideran todas las muertes en la población norteamericana, cuál es la causa más probable ¿el homicidio o el suicidio?

También en esta ocasión, la disponibilidad condiciona nuestro juicio. La mayoría de las personas consideran que los homicidios son más frecuentes, pero de hecho, el suicidio es dos veces más probable. Repárese en que el prejuicio ocurre en esta ocasión debido a que nuestra experiencia (y por lo tanto nuestra memoria) están condicionadas —los medios de comunicación nos inundan con reportajes de homicidios—. Las historias sobre crímenes son más de 20 veces más comunes que las historias de suicidio en los periódicos o en las noticias de la televisión. Esto es claramente un condicionamiento importante; esta es la clase de juicio que hacemos cuando decidimos si volar o conducir, qué tipo de seguro contratar o qué votar en un referéndum sobre si invertir más dinero en asuntos de seguridad, construcción de autopistas o servicios médicos.

Una segunda capacidad heurística en la que nos basamos para juzgar la probabilidad se basa en nuestra habilidad para hacer juicios rápidos de similitud y nuestro hábito de pensar en términos de acontecimientos representativos o de casos. La *representatividad* es juzgar por prototipos y todos lo hacemos. Deducimos la categoría social de una persona a partir de la similitud entre la apariencia de esa persona y nuestro prototipo de un miembro de esa categoría. Dado que Carmen viste siempre con elegancia, va bien peinada, maquillada y con la manicura hecha, suponemos que pertenece a una clase alta; Juan es grande, taciturno y usa prendas sudadas así que suponemos que es un deportista. Otra vez, estos hábitos de juicio son adaptables, *si* nuestros prototipos son exactos *y si* consideramos otra información pertinente además de la similitud con el prototipo cuando hacemos nuestro último juicio. Pero, al igual que nos basamos demasiado frecuentemente en una rápida evaluación de lo que tenemos disponible la memoria, también nos basamos en una rápida evaluación sobre la similitud a un prototipo y hacemos juicios condicionados o prejuicios sobre la probabilidad de que un suceso o una persona representen a una categoría.

Consideremos el siguiente escenario: María tiene 31 años, es soltera, extrovertida y muy brillante. Se ha especializado en Filosofía. Cuando era estudiante estaba muy preocupada por cuestiones de discriminación y justicia social y también participaba en manifestaciones antinucleares. Ordenemos las siguientes afirmaciones por su probabilidad, otorgando el número 1 a la más probable y el 8 a la menos probable.

María es profesora en una escuela de primaria.

María trabaja en una librería y va a clases de yoga.

María es feminista.

María trabaja como asistente social en Psiquiatría.

María pertenece a la Liga de Mujeres Votantes.

María es cajera en un banco.

María es vendedora de seguros.

María es cajera en un banco y milita en el movimiento feminista,

Si, como la mayoría de los sujetos, hemos otorgado una alta probabilidad a «María es feminista» y una baja probabilidad a «María es cajera en un banco», entonces nos hemos basado en la «representatividad» o en una evaluación rápida e intuitiva de cuánto se parece María a sus prototipos de la categoría social de «feministas» y de «empleadas de banco»; parece una «feminista típica» pero no una «cajera de banco».

¿Y en lo relativo a la categoría «conjuntiva», María es cajera en un banco *y es* feminista»? La tendencia natural es basarse otra vez en la similitud y la mayoría de nosotros concluiríamos que la probabilidad de que sea una cajera de un banco feminista es intermedia entre las probabilidades de que sea feminista (alta probabilidad) y cajera de un banco (baja probabilidad). Sin embargo, este juicio infringe la lógica de las relaciones de juego: ¿cómo es menos posible que María pertenezca a una categoría de orden superior (cajeros de banco) que alguna de sus subcategorías (cajeras de banco que también son feministas)? Al fin y al cabo, ¡toda feminista que sea cajera de banco es una cajera de banco! Algunas personas —especialmente, las de tipo profesor que se siente avergonzado por la aparente falta de lógica de sus criterios— objetan que el enunciado del problema es engañoso, que cuando se les dijo «María es cajera de banco» ellos pensaron que estaban juzgando «María es cajera de banco *y no* es feminista». Pero cuando el problema se reformuló para que no resultara ambiguo siguieron dándose infracciones sustanciales de la lógica.

Las infracciones se pueden reducir al realizar las preguntas en términos de frecuencia y no de probabilidades abstractas, «de 100 mujeres como María, ¿cuántas son...»? El «formato de frecuencia» es un recordatorio efectivo de las relaciones entre conjuntos y subconjuntos en el problema (las cajeras de banco feministas son un subconjunto de las cajeras de banco) y, consecuentemente, las personas se hacen más lógicas. De hecho, volver a formular cualquier problema de probabilidades —en la clase o en la calle— en los términos de un formato de frecuencias ayudará a que se sigan las leyes de la teoría de la probabilidad. Pero, a pesar del hecho de que podemos reducir los errores lógicos en el problema de María, la mayoría de nosotros admitiremos que cometimos un error en nuestro juicio original y que fue la similitud lo que nos confundió (y no el enunciado del problema).

Pensemos en una tercera capacidad heurística para juzgar la probabilidad, la confianza en las relaciones causales y los modelos causales simples, conocidos como la *simulación heurística*. Veamos las siguientes preguntas genéticas: ¿Qué es más probable, que si una madre tiene los ojos azules, entonces su hija tenga los ojos azules; o que si una hija tiene los ojos azules, entonces su madre tenga los ojos azules? La intuición fuerte es que es más probable el que si la madre tiene los ojos azules, entonces la hija también los tendrá. Después de todo, son los genes de la madre la *causa* de los ojos azules de la hija. Pero, otra vez, la intuición está equivocada. En las condiciones que se cumplen en la mayoría de las poblaciones humanas, la probabilidad es la misma para el caso de los ojos azules entre madre hija que entre hija y madre.

Una última demostración del atractivo de las historias causales (adaptado de Tversky y Kahneman, 1984): ¿Qué es más probable, que durante los próximos

12 meses ocurra una gran inundación en California que cause más de 1.000 ahogados, o que durante los próximos 12 meses tenga lugar en California un terremoto que origine una enorme inundación en la cual se ahoguen más de 1.000 personas? Los sujetos que juzgaron la probabilidad, al segundo acontecimiento le asignaron una mayor probabilidad que al primero. De nuevo, una conjunción (terremoto e inundación) se consideró más probable que uno solo de los dos acontecimientos que la componían (sólo inundación) infringiendo otra vez la lógica de los conjuntos. En esta ocasión no es la similitud la que está detrás de los efectos, si no la simulación causal —el terremoto es una buena razón para que ocurra la improbable inundación y por tanto la combinación causa-efecto se juzga más probable que tan sólo el efecto inexplicable—.

La investigación de los sesgos o preferencias en los juicios de probabilidad ha llevado al desarrollo de la **teoría del soporte**, que especifica que combinamos nuestras creencias sobre la posibilidad a partir de múltiples fuentes, y que se basan en muchas capacidades cognitivas subyacentes, en una «fuerza de la credibilidad» que las resume para los propósitos de una toma de decisiones. De acuerdo con la teoría del soporte, un posible acontecimiento descrito como «mi coche no pudo arrancar esta mañana» recibe diferente fuerza de credibilidad (probabilidad que se estima) que otro descrito como «mi coche no pudo arrancar esta mañana debido un fallo mecánico, o debido a que se encuentra sin gasolina, o debido al tiempo, o por cualquier otra razón». En general, los acontecimientos «no empaquetados», tales como el segundo enunciado, reciben una mayor credibilidad, una mayor probabilidad desde el punto de vista de quien toma la decisión, y tienen un mayor impacto en las decisiones que los acontecimientos «empaquetados». Así, *p* (el coche no arranca) recibe una estimación de probabilidad más baja que *p* (no arranca *por* esto *o por* lo otro *o por* cualquier otra razón).

La teoría del soporte complementa la teoría prospectiva y es consistente con la función del peso de las decisiones que se muestra en la Figura 9-4 (Fox, 1999). Si se toman conjuntamente, estas dos teorías proporcionan una teoría general comportamental de la toma de decisiones basadas en las creencias (Tversky y Fox, 1995). La teoría prospectiva es el marco general tanto para la evaluación del valor (función del valor) como para los juicios sobre la probabilidad (función del peso de la decisión); la teoría del soporte proporciona una descripción más detallada de algunos de los procesos cognitivos que están detrás de la función del peso de la decisión.

En contraste con la gran cantidad de investigación comportamental sobre castigos, recompensas y procesos de evaluación hay muy poca investigación neurocientífica disponible sobre nuestros juicios acerca de la probabilidad de los acontecimientos. Sin embargo, la investigación de la capacidad para los cálculos mentales debe guiar la investigación en este campo. Las ideas pertinentes incluyen la sugerencia de que los juicios intuitivos se pueden llevar a cabo mediante sistemas neurales distintos del que implementa las estimaciones numéricas deliberadas. Se ha demostrado que el cálculo mental implica la activación del lóbulo frontal, mientras que la estimación aproximada emplea las áreas bilaterales de los lóbulos parietales, áreas que están generalmente asociadas con el procesamiento visuoespacial (Dehaene *et al.,* 1999). Es probable que los juicios sobre la frecuencia jueguen un papel especial en muchas evaluaciones correspondientes a las probabilidades (Cosmides y Tooby, 1996; Gigerenzer, 1994), y los estudios con pacientes con daño cerebral sugieren que los lóbulos frontales participan en la estimación de la frecuencia (M. L. Smith y Milner, 1984, 1988).

Los juicios sobre probabilidad se pueden hacer mediante una «caja de herramientas» de capacidades cognitivas heurísticas, probablemente la misma «caja de herra-

mientas» sobre la que se realizó la hipótesis de que contuviera varias estrategias de elección. Estas herramientas heurísticas se basan en diferentes capacidades de memoria, similitud y deducción. Por lo tanto, es probable que los juicios sobre la incertidumbre se realicen por una diversa colección de sistemas neurales y reclutados para realizar funciones específicas que están detrás de cada estrategia heurística.



### *Control de comprensión*



1. Este apartado incluye un cierto número de errores sistemáticos y de prejuicios que se han observado en las tareas de juicio realizadas en laboratorio. ¿Cuál de ellos podría jugar un papel importante en el éxito (o falta de éxito) de la vida cotidiana fuera del laboratorio?
2. Hemos descrito dos atajos comunes en las estrategias de elección: la satisfacción y la eliminación por aspectos. ¿Podemos pensar en alguna elección personal que se haya hecho recientemente y que se haya basado en una de estas dos estrategias —por ejemplo, al alquilar un apartamento, al comprar algo en Internet o al alquilar una cinta de video?—.

## 5 Toma de decisiones complejas e inciertas

En la vida, por supuesto, en ocasiones no tenemos claramente presentadas las descripciones de los resultados y de sus probabilidades que posibilitan una evaluación útil y un buen juicio. Sin embargo, tomamos generalmente decisiones adaptables, incluso cuando la información sobre los resultados y las probabilidades de los acontecimientos está sólo implícita y debe aprenderse a partir de la experiencia. ¿Cómo lo hacemos? Esta pregunta fue examinada por Antonio Damasio y sus colaboradores, en la Universidad de Iowa.

La investigación comenzó con la consideración de la conducta de pacientes que habían recibido heridas en la corteza prefrontal. El paciente más famoso de este tipo fue Phineas Gage, que resultó herido en 1848 cuando la barra de hierro le atravesó la corteza prefrontal en una explosión. (Su caso se estudió en el Capítulo 7, en el contexto de los procesos ejecutivos). Un análisis cuidadoso de la trayectoria de la barra dentro del cráneo de Gage indicó lesiones en la corteza orbitofrontal (ventromedial). Los cambios de conducta que manifestó Gage se pueden describir básicamente como una toma de decisiones inadaptada; una conducta similar se ha observado en otros pacientes que también han sufrido lesiones en la corteza prefrontal.

El caso de Gage fue el primero bien documentado de una víctima de daño cerebral que, habiendo tenido una recuperación aparentemente milagrosa, mostraba en un examen más cuidadoso carecer de algo que disminuía su capacidad de tomar las decisiones de cada día. Había sido un empleado responsable y fiable antes del accidente, pero tuvo un cambio de personalidad extraordinario y se volvió irresponsable, obsceno e indiferente a los convencionalismos sociales de su tiempo. Según la frase memorable de su médico, «Gage ya no era Gage». En general, los pacientes con lesiones en la corteza prefrontal ventromedial manifiestan capacidades cognitivas normales si se

las evalúa con pruebas estandarizadas de memoria, aptitud para el lenguaje e inteligencia general. Sin embargo, como en el caso de Gage, estos pacientes se convierten frecuentemente en malos agentes de decisiones y sus familias y amigos suelen quejarse de que algo « falta» en la personalidad del paciente después de la herida. Los pacientes se describen en frases como «emocionalmente plano», «decide en contra de sus intereses», «no aprende de sus errores», «impulsivo» y «sus decisiones conducen a consecuencias negativas».

Hasta hace poco, estas descripciones eran las únicas pruebas disponibles de un fallo en la capacidad de toma de decisiones en pacientes con lesión en la corteza prefrontal ventromedial. La situación cambió cuando Damasio y su grupo elaboraron una tarea controlada que ahora se conoce como la tarea del juego de Iowa. En esta tarea, los sujetos buscan cobros monetarios en un ambiente incierto formado por cuatro barajas de cartas A, B, C y D (Bechara *et al.*, 1994). El objetivo del sujeto es ganar dinero (jugarse el dinero) seleccionando las cartas de las barajas que están asociadas con resultados de pérdida y ganancia. En cada ensayo, el sujeto elige una carta de una de las barajas y recibe el premio impreso en su cara oculta. Cada una de las barajas tiene una tendencia a resultar bien en ganancias, o bien en pérdidas altas y bajas, y el sujeto debe aprender la tendencia mediante la experiencia de los diferentes intentos con cada baraja. Los investigadores llamaron a las barajas A y B «desventajosas» porque tenían valores esperados negativos: un jugador que tomara cartas de esas barajas con frecuencia perdería dinero y podría acabar en bancarrota. Las barajas C y D eran «ventajosas» debido que tenían valores esperados positivos y si se realizaban extracciones repetidas de esas barajas el jugador ganaría dinero a largo plazo.

Sin embargo, al principio, distaba de ser obvio qué barajas eran buenas y cuáles malas. Específicamente, cada una de las cartas de las barajas desventajosas (A y B) pagaban una ganancia positiva de 100 € en cada intento; pero algunas cartas (una o cinco de cada 10 según la baraja) *también* incluían pérdidas, pérdidas lo suficientemente grandes como para producir una pérdida neta de 250 € por cada 10 cartas que se tomaran de esas barajas. Cada una de las cartas en las barajas ventajosas (C y D) pagaban también una ganancia constante en cada extracción, pero de tan solo 50 €; sin embargo, las pérdidas intermitentes e impredecibles de alguna de las cartas era tan pequeña que el saldo neto por cada 10 extracciones era una ganancia de 250 €. La tarea se diseñó para ser confusa: las *barajas perdedoras* tenían de forma consistente mayores cantidades positivas en cada carta (100 €) y las barajas ganadoras tenían consistentemente sus cantidades positivas más pequeñas en cada carta (50 €). Un resumen de las características estadísticas de cada baraja aparece en la Figura 9-13. Resolver el juego —esto es, tomar una decisión provechosa— requería el aprendizaje de un patrón impredecible de pérdidas.

Jugaron el juego un grupo de pacientes con lesión prefrontal ventromedial y un grupo de sujetos de control sin ella. A todos los jugadores les atrajeron inicialmente las barajas A y B con sus ganancias aparentemente altas, pero transcurrido un tiempo (habitualmente entre 20 y 40 intentos) los sujetos de control cambiaron de las barajas A y B a las barajas ventajosas C y D. Los pacientes con lesión prefrontal ventromedial, sin embargo, persistieron en su preferencia por las barajas perdedoras. Más aún, *antes de* elegir las cartas de las barajas desventajosas los pacientes mostraron una respuesta plana de la conductibilidad de la piel, mientras que los sujetos del grupo de referencia desarrollaron gradualmente niveles elevados de conductibilidad de la piel, lo cual se asocia con reacciones emocionales. Era como si una «campana de alarma»

| | Baraja A | Baraja B | Baraja C | Baraja D |
|---|---|---|---|---|
| Importe de la recompensa (en cada carta de la baraja) | 100 € | 100 € | 50 € | 50 € |
| Importes de las penalizaciones (sólo en algunas cartas) | 150–350 € | 1.250 € | 25–7 € | 250 € |
| Probabilidad de penalización | 0,5 | 0,1 | 0,5 | 0,1 |
| La primera penalización se presenta en la carta: | 3 | 9 | 3 | 9 |
| Valor esperado | –25 € | –25 € | +25 € | +25 € |

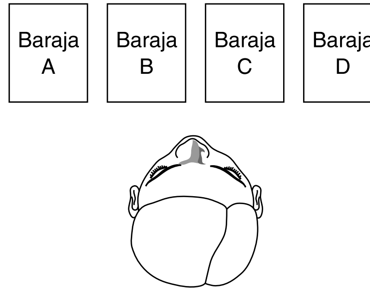



**FIGURA 9-13** La tarea del juego de Iowa

Cuando se elige una carta y se pone boca arriba siempre revela una ganancia (100 € para las barajas A y B; 50 € para las barajas C y D), pero algunas cartas indican una pérdida (las pérdidas varían entre 25 € y 1.250 €), que se ha de restar a la ganancia de dicha carta. Las ganancias están organizadas de tal manera que las barajas de alta ganancia (A y B) tienen también las cartas con pérdidas más altas. Las pérdidas pesan más que las ganancias, de modo que los valores esperados de las barajas A y B son negativos —elegir una y otra vez las barajas A y B les lleva a los sujetos a perder dinero—. Las barajas C y D, sin embargo, conllevan menores ganancias en cada carta, pero también menores pérdidas, y estas barajas tienen valores esperados positivos.

emocional estuviera señalando a los sujetos de referencia que evitaran las barajas perdedoras. Por el contrario, los pacientes con lesión frontal ventromedial no llegaron a tener respuestas emocionales anticipatorias y no aprendieron a evitar las barajas desventajosas.

Damasio y sus colaboradores (1994) obtuvieron una conclusión clara de estos estudios, e hicieron la hipótesis de que la toma normal de decisiones adaptables en ambientes complejos e inciertos depende de «marcadores somáticos», señales emocionales que nos previenen de que están a punto de ocurrir acontecimientos importantes. Establecidos probablemente por procesos de condicionamiento primitivo, los marcadores somáticos nos previenen de amenazas o de oportunidades excepcionales, o al menos interrumpen el procesamiento de otros acontecimientos y nos dan una advertencia de que algo importante va a ocurrir. En la toma de decisiones rutinaria, los marcadores somáticos pueden ayudarnos, al reducir grandes conjuntos de elecciones posibles a grupos pequeños y más manejables. Las opciones extremadamente malas se eliminan rápidamente de la consideración debido a que las señales de los marcadores somáticos nos dicen rápidamente que las evitemos, y así podemos razonar sobre los contendientes serios con nuestros procesos deliberados de pensamiento consciente.

La hipótesis ha conducido a una cierta controversia en una década de investigación de seguimiento vigorosa y, en ocasiones, critica (Bechara *et al.,* 2000a, 2000b; Krawczyk, 2002; véanse comentarios críticos de Leland y Grafman, 2005; Maia McClelland, 2004; Rolls, 2000; Tomb *et al.,* 2002). Se precisa el desarrollo de prue-

bas adicionales y mayor análisis de los sistemas neurales subyacentes, dado que no es probable que la versión original de Damasio de los marcadores somáticos sea exactamente correcta (por ejemplo, Sanfey *et al.,* 2003a). En particular, parte del problema que tienen los pacientes con daño prefrontal ventromedial con las tareas del juego pueden deberse al hecho de que tienen dificultades para cambiar de elección cuando cambia el premio; inicialmente (en los primeros ensayos) las barajas desventajosas proporcionan mayores premios (y no pérdidas) y los pacientes pueden tener problemas para cambiar de estrategia cuando las barajas que una vez fueron buenas comienzan a originar grandes pérdidas (Fellows y Farah, 2003).

Sin embargo, la idea básica de Damasio puede ser válida: muchas decisiones que hacemos se basan en situaciones de alta incertidumbre o parcialmente comprendidas. Cuando nuestras estrategias deliberadas y controladas no nos conducen a tomar una decisión han de ser suplementadas o reemplazadas por sistemas más automáticos, implícitos o «intuitivos». En la tarea del juego de Iowa, los sistemas cognitivos que subyacen bajo nuestros procesamientos deliberado e «intuitivo», «saben» de las ganancias según cada carta de un premio de 100 € o de 50 €. Pero aprender la pauta esporádica e impredecible de las pérdidas puede estar más allá de la capacidad del sistema deliberativo (al menos en los 100 ensayos del juego). Esto significa que el responder de forma efectiva al resultado final del juego, determinado por la suma de las ganancias y de las pérdidas, requiere que los jugadores deban basarse en lo que el sistema intuitivo aprende. Debido a que los pacientes prefrontales ventromediales aparentan tener déficit en el funcionamiento de su sistema intuitivo, no pueden elegir de forma adaptable. Un resultado paralelo con pacientes amnésicos subraya el papel de los procesos intuitivos en la predicción de que ocurran acontecimientos inciertos (Knowlton *et al.,* 1994).



## *Control de comprensión*



1. ¿Por qué, en ocasiones, los estudios de pacientes con daño cerebral pueden dar mayor soporte a las deducciones causales sobre las relaciones entre cerebro y conducta que los estudios de neuroimagen?
2. Damasio y sus colaboradores (1994) sostienen que el déficit que subyace a las diferencias entre pacientes con daño en la corteza prefrontal ventromedial y los pacientes normales de referencia refleja la incapacidad de los pacientes para aprender respuestas emocionales a ciertas situaciones (barajas de cartas experimentales). ¿Podríamos pensar en otras alteraciones cognitivas que puedan explicar también las dificultades de los pacientes?

# *Repaso y reflexión*

1. *¿Qué elementos componen una decisión?*

   Una decisión es la elección de una línea de acción particular entre todas aquellas que están disponibles. Es difícil trazar una línea definida entre las decisiones explícitas y deliberadas y las decisiones implícitas y automáticas, pero la investigación se ha centrado en las decisiones deliberadas, en las cuales quien toma las

decisiones pondera de forma consciente los costes y los beneficios de las distintas acciones alternativas.

Una «buena» decisión es la que conduce al resultado que mejor satisface los objetivos de quien toma las decisiones en el momento en que la decisión se toma. Un método que utilice un árbol de decisiones para analizar las decisiones en los términos de las utilidades que se esperan, se considera el método racional para tomar la decisión ideal. Con frecuencia la construcción del árbol de decisiones inicia la búsqueda de información para reducir la incertidumbre sobre qué consecuencias pueden ocurrir, cómo están relacionadas con los objetivos de quien toma la decisión y la probabilidad de que ocurra el acontecimiento relevante para la decisión.

El modelo de utilidad esperada para una toma de decisiones racional y óptima derivado de la economía, subyace a las técnicas de toma de decisiones que se enseñan en la medicina, en los negocios y en los departamentos gubernamentales.

**Piense críticamente**

- ¿Los *alienígenas* de otro planeta estarían de acuerdo con esta definición de lo que es una «buena» decisión?, ¿podría darse una definición más apropiada?
- Supongamos que dirigimos un análisis de una decisión personal y descubrimos que el resultado del análisis no está de acuerdo con nuestros «sentimientos viscerales» sobre lo que queremos hacer. ¿Qué haríamos para reconciliar las dos conclusiones en conflicto?

2. *¿Cómo se comparan las decisiones humanas con el modelo de utilidad esperada de toma de decisiones?*

En la mayoría de las situaciones, especialmente cuando las consecuencias son importantes y hay tiempo para estar bien informado, las personas toman decisiones adaptables y cercanas a los racional. Por esto es por lo que el modelo de utilidad esperada tiene tanto éxito al explicar muchas conductas. Pero los científicos comportamentales han registrado muchas conductas «anómalas» que demuestran desviaciones del modelo de utilidad esperada.

Algunas anomalías ilustran trasgresiones fundamentales del razonamiento con sentido común sobre valores y consecuencias. Por ejemplo, en ciertas circunstancias las personas muestran intransitividad, prefiriendo A a B y B a C y al tiempo C a A en una pauta irracional. Además, las personas son sensibles al modo específico en el cual se obtienen los valores —esto es, a los efectos de encuadre— lo que puede causar la inversión de las preferencias. Otras anomalías incluyen infracciones de las reglas de la teoría de la probabilidad, y tenemos una aversión natural a las líneas de acción ambiguas e inciertas que puede dar lugar a elecciones paradójicas en algunas condiciones. Finalmente, algunas anomalías tales como la *paradoja de Allais* y la *paradoja de Ellsberg*, parecen transgredir las reglas del pensamiento racional sobre la combinación de incertidumbres y consecuencias.

Así pues, hay numerosas pruebas de que no somos totalmente racionales de acuerdo con las reglas para la toma de decisiones que prescriben la teoría matemática de la probabilidad y el modelo de utilidad esperada. Sin embargo, hasta la fecha, los psicólogos no han podido encontrar un caso sólido en el que la irracionalidad sea exagerada en decisiones importantes que no sean de laboratorio.

**Piense críticamente**

- ¿Es suficiente recibir una consecuencia indeseable para concluir que el proceso de decisión fue deficiente?, ¿cuáles son los argumentos más convincentes que se

pueden dar para probar que una decisión real, no de laboratorio, es una mala decisión?
- ¿Cómo se pueden evaluar los objetivos de quien toma una decisión?, ¿es posible tener «malos objetivos»?

3. *¿Cómo determinamos el valor de las consecuencias de nuestras decisiones?*

Para los científicos y para quien toma una decisión, la valoración de las consecuencias es el proceso más intrigante de los que están relacionados con la toma de decisiones. Los investigadores han eludido este profundo problema al mantener las consecuencias de los experimentos en simples pagos monetarios para los seres humanos y en recompensas de zumo para los sujetos no humanos. En verdad, la valoración depende de los objetivos del momento del que toma una decisión. También es cierto que la emoción juega un papel central en la mayoría de los procesos de evaluación —esto es evidente desde nuestra experiencia subjetiva de las muchas emociones que experimentamos cuando anticipamos consecuencias en el momento que tomamos las decisiones y cuando esas consecuencias ocurren—. Además, las regiones del cerebro asociadas con las reacciones emocionales están activas cuando los sujetos humanos están evaluando las consecuencias, lo que incluye los pagos monetarios.

Es seguro que los datos neurocientíficos jugarán un papel central en los futuros estudios de evaluación. Parece claro que el cerebro computa valores relativos para las consecuencias mediante el uso de sistemas neurales que evolucionaron originalmente para evaluar el valor de experiencias básicas: comida, frío y calor, dolor y sexo. A día de hoy, se han obtenido resultados fascinantes que demuestran que partes del sistema límbico juegan un papel en las evaluaciones de cobros de carácter inmediato al compararlos con cobros aplazados (e incluso en relación con nombres de marcas comerciales y con juicios morales).

**Piense críticamente**

- ¿Cómo predicen las personas el valor de las futuras consecuencias cuando toman una decisión?, ¿cuán exactas parecen ser esas previsiones?
- ¿Cómo aumentaría la exactitud de nuestras previsiones personales sobre el valor de las consecuencias futuras?

4. *¿Qué papel juegan las emociones en los procesos de decisión?*

Es indudable el papel central que juegan las emociones en la toma de decisiones en el proceso de evaluación, cuando evaluamos lo mucho que queremos (o que no queremos) que ocurra una consecuencia. Casi todas las evaluaciones, incluso para consecuencias «frías» como el dinero, conllevan un componente emocional significativo. Y las emociones son el elemento dominante en nuestra evaluación cuando consideramos consecuencias más «calientes», tales como los resultados de las interacciones sociales, resultados que incluyen placeres viscerales o dolores, o que son significativos para nuestra propia estima.

Algunos investigadores han pensado que las emociones han evolucionado para apoyar respuestas rápidas del tipo «lucha o huída» o para interrumpir acciones en curso para problemas u oportunidades especiales, pero que en el entorno moderno estas emociones interfieren habitualmente con la toma racional de decisiones. Sin embargo, resultados de los estudios con pacientes con lesión en la corteza prefrontal orbitofrontal sugieren que las emociones pueden jugar un importante papel positivo en la toma de decisiones. Con frecuencia, las emociones

pueden apoyar una elección acertada, incluso superando a procesos más deliberados de decisión; y cuando la deliberación es útil, las emociones pueden facilitar un análisis más profundo al ayudar a quien toma una decisión a centrarse en las alternativas más prometedoras cuando existe un amplio conjunto de posibilidades, lo cual es especialmente útil en un entorno moderno en el que la variedad de las posibilidades puede llegar a aturdir y frustrar.

**Piense críticamente**

- ¿Las emociones juegan un papel positivo, de adaptación, en nuestros procesos de decisión, o tomaríamos mejores decisiones si no tuviéramos emociones?
- ¿Las emociones pueden jugar un papel positivo en todas las fases de la toma de decisiones?, ¿por qué sí o por qué no?

5. *¿En qué heurísticas fundamentales nos basamos para estimar la probabilidad de los acontecimientos inciertos?*

Hemos aprendido o inventado muchas heurísticas de enjuiciamiento y de elección, rápidas, fáciles cognitivamente; habitualmente estrategias de razonamiento adaptativas que proveen soluciones cercanas a la óptima con un esfuerzo relativamente pequeño. Muchos de estos elementos heurísticos son virtualmente automáticos y se utilizan para hacer enjuiciamientos de probabilidad y evaluaciones de valoración de forma prácticamente inadvertida. Estos elementos heurísticos fundamentales incluyen evitar procesos de razonamiento deliberado difíciles (quizás imposibles) y utilizar en su lugar la recuperación de la memoria (heurística de la disponibilidad), la similitud (heurística de la representatividad) y el razonamiento causal (heurística de la simulación). Heurísticas más elaboradas y, por lo tanto, más conscientes son similares a simples reglas de deducción: «anclar y ajustar», satisfacción y eliminación por aspectos.

**Piense críticamente**

- La lista actual de elementos heurísticos o de hábitos de decisión seguramente está incompleta. ¿En qué otros enjuiciamientos o elección de elementos heurísticos se basa usted para tomar sus decisiones personales?
- ¿Cómo comprobaríamos lo bien que funciona un proceso de enjuiciamiento heurístico?

6. *¿Cómo cambian las decisiones cuando las situaciones se vuelven inciertas, ambiguas y más complejas que las de los simples experimentos de laboratorio?*

No hay respuesta segura a esta pregunta sin llevar a cabo estudios adicionales en el entorno natural de lo que es de interés. El campo de la toma de decisiones es muy pragmático (existen sociedades importantes que apoyan las aplicaciones a la medicina, el análisis de políticas y los negocios), por lo que algo sabemos acerca de la validez de los resultados de laboratorio en las aplicaciones de campo.

En primer lugar, cuando aumenta la complejidad, las personas se basan fuertemente en los elementos heurísticos que simplifican el proceso de decisión. Pero aparenta existir un buen equilibrio entre la importancia de una decisión y la cantidad de esfuerzo cognitivo que se utiliza para tomarla, y así las decisiones importantes se acercan más a las estrategias racionales.

En segundo lugar, el aprendizaje se hace mucho más importante fuera del laboratorio. Algunos elementos heurísticos dependen de un aprendizaje previo extensivo debido a que requieren conocer qué señales predicen mejor los aconteci-

mientos que se están considerando. La evaluación está influida habitualmente por experiencias previas con consecuencias similares, las cuales también dependen del aprendizaje y de la memoria para la información relativa a esos resultados.

En tercer lugar, las emociones juegan un papel más importante fuera del laboratorio: las consecuencias usualmente son más importantes y están cargadas de emociones: las presiones del tiempo y la complejidad del ambiente inducen estrés. Algunos de los hallazgos más apasionantes proceden de los estudios de las elecciones de pacientes con daño cerebral en tareas emocionalmente complejas. Estos pacientes, quienes parecen incapaces de conectar alarmas emocionales con las situaciones en las que eligen, eligen de modo imprudente; mientras que los sujetos de referencia parecen confiar en respuestas rápidas, condicionadas emocionalmente, para realizar mejores elecciones. Este último resultado ha sido especialmente influyente y controvertido dado que sugiere el valor positivo de la emoción en la toma de decisiones.

**Piense críticamente**

- Consideremos la elección entre pares de juegos de casino que son el principio de los estudios más básicos de toma de decisiones, y luego pensemos en una decisión personal importante. ¿Hasta qué punto es acertada la analogía entre la elección del juego y la situación de nuestra decisión personal?, ¿es la vida realmente una secuencia de juegos?
- ¿Qué es lo que dificulta subjetivamente una decisión?, ¿qué es lo que hace que una decisión sea probablemente una mala decisión?, ¿cómo se relacionan los dos tipos de dificultad?

# Resolución de problemas y razonamiento




## Objetivos de aprendizaje

Estamos de suerte: hay un paseo corto, relajante y agradable desde la puerta de nuestra casa al edificio de Psicología, donde esta mañana tenemos un examen. Pasando la pista de carreras y tras cruzar el pequeño parque, rodear el edificio de administración, ya hemos llegado. Hemos cruzado el parque, pero ahora, viendo ya el edificio de Psicología, vemos también barricadas y vehículos y agentes de policía. Tenemos el camino bloqueado: ¿Qué es lo que ocurre? ¡Ah! —recordamos—, hoy viene el rector; debe de haber una manifestación... Tenemos que encontrar otro camino. Suponemos que podemos llegar al edificio de Psicología sorteando el edificio de administración y dando un rodeo para encontrar otro camino; no podemos perder mucho tiempo. ¡Ha habido suerte! Ahora, que haya suerte en el examen...

Como animales humanos que somos, nos acabamos de implicar en la resolución de problemas y razonamiento. «Pienso, luego existo» —con esta simple afirmación, el filósofo francés René Descartes (1596-1650) interpretó, de un modo célebre, lo que muchos creen que es la esencia de un ser humano—. ¿Pero qué significa pensar? Los filósofos han lidiado con esta difícil pregunta durante milenios; en las últimas décadas la han sometido a examen psicólogos cognitivos y neurocientíficos. Habitualmente se considera que el **pensamiento** es el proceso de representación mental de algunos aspectos del mundo (incluyéndonos a nosotros mismos) y transformación de estas representaciones de tal modo que se generen nuevas representaciones, útiles para nuestros fines u objetivos. Pensar es con frecuencia (pero no siempre) un proceso consciente, en el cual somos conscientes del proceso de transformación de las representaciones mentales, y se puede recapacitar sobre la reflexión en sí misma. La resolución de problemas y el razonamiento son dos tipos clave de pensamiento. La **resolución de problemas** abarca el conjunto de procesos cognitivos que aplicamos para alcanzar un objetivo cuando hemos de superar obstáculos para alcanzar dicho objetivo. El **razonamiento** incluye los procesos cognitivos que utilizamos para hacer deducciones a partir del conocimiento y obtener conclusiones. (El razonamiento puede formar parte de la resolución de problemas).

Estos no son conjuntos de procesos cognitivos aislados, sino que se construyen y alimentan uno a otro y a otros procesos cognitivos, incluyendo a aquellos relacionados con la categorización (véase el Capítulo 4), las imágenes mentales (Capítulo 11) y la toma de decisiones (Capítulo 9). Más aún, la resolución de problemas y el razonamiento dependen de la atención (Capítulo 3), de la memoria a largo plazo (Capítulo 5), de los procesos ejecutivos (Capítulo 7) y del lenguaje (Capítulo 12); aunque la investigación sobre la resolución de problemas y sobre el razonamiento suele llevarse a cabo independientemente una de otra, están obviamente relacionadas, y como tal trataremos ambas en este capítulo. Este capítulo describe cómo nos enfrentamos con situaciones complejas utilizando una serie de herramientas de resolución de problemas y de razonamiento. El uso provechoso de estas herramientas cognitivas se basa en muchas redes neurales cerebrales y depende en particular de la corteza cerebral frontal y parietal. Nos ocuparemos específicamente de seis preguntas:

1. ¿Cuál es la naturaleza de la resolución de problemas?
2. ¿Cómo usamos heurísticas o «estrategias mentales» para resolver problemas?
3. ¿Cómo utilizamos analogías para resolver nuevos problemas?
4. ¿Cuál es la diferencia entre el razonamiento inductivo y el deductivo?
5. ¿Cómo influyen nuestros conocimientos y creencias en nuestro razonamiento «lógico»?
6. ¿Cómo coordina nuestro cerebro la gran cantidad de procesamiento implicado en la resolución de problemas y el razonamiento?

# 1 Naturaleza de la resolución de problemas

En el contexto de la Psicología cognitiva, un *problema* es una situación en la cual no existe un camino inmediato aparente, habitual o rutinario, para alcanzar una meta. La determinación de la meta y el grado de dificultad al que nos enfrentamos son importantes: si no nos preocupa llegar al edificio de Psicología a tiempo para el examen, o si es obvio un desvío que nos satisface, no nos enfrentamos a ningún problema. Algunos problemas, como los que surgen entre padres e hijos cuando intentan llevarse bien, pueden tener contenido emocional; otros, como los problemas matemáticos, son menos emocionales pero pueden implicar una emoción (p. ej., ansiedad) en ciertas circunstancias (como cuando aparece un problema matemático en un examen). La investigación sobre la resolución de problemas utiliza generalmente problemas que son de naturaleza menos emocional, pero se piensa que los tipos de estrategia que utilizamos para resolver problemas tanto emocionales como no emocionales son similares.

Así pues, la resolución de problemas requiere sortear obstáculos para alcanzar un objetivo. Saber cómo encender las luces de nuestro apartamento no es un problema cuando hay electricidad, pero se convierte en un problema cuando hay un apagón. De modo que las situaciones rutinarias con respuestas rutinarias no se consideran problemas. Han de existir soluciones nuevas o no estandarizadas que quien resuelve los problemas tiene que descubrir. Ya que la resolución de problemas es algo tan omnipresente en nuestras vidas, se ha convertido en una importante área de investigación, con importancia tanto teórica como práctica.

La meta final de la investigación sobre resolución de problemas ha sido identificar las estrategias que utilizamos cuando nos enfrentamos a una situación nueva y debemos decidir una línea de acción. Quien resuelve el problema ha de identificarlo, encontrar un modo de representarlo y elegir una línea de acción que haga posible conseguir la meta. Puesto que están involucrados muchos tipos de procesos cognitivos diferentes, incluyendo los ocasionados por los procesos de memoria, atención y percepción, en la resolución de problemas intervienen muchas partes del cerebro.

Se han llevado a cabo investigaciones acerca de diversos aspectos de la resolución de problemas y utilizado diversos métodos, tanto comportamentales como basados en la actividad cerebral. Los investigadores han estudiado a científicos, como por ejemplo Albert Einstein (véase la Figura 10-1), cuando resolvían problemas (Wertheimer, 1985); a biólogos moleculares cuando realizaban descubrimientos (Dunbar, 2000); a artistas como Picasso mientras pintaban (Weisber, 1993) y a participantes en experimentos cuando resolvían enigmas y problemas de lógica (Grenno, 1978; Klahr, 2000).

## 1.1. La estructura de un problema

En su nivel más básico, un problema puede imaginarse como si tuviera tres partes. El primero es el **estado «objetivo»** o meta: allí es donde se quiere llegar, a la solución del problema (como es llegar al edificio de Psicología). El segundo es el **estado inicial** (o **estado de partida**): aquí es donde nos encontramos cuando nos enfrentamos a un problema que tiene que ser resuelto. El tercero es el conjunto de operaciones que se pue-



**FIGURA 10-1** Un experto en resolver problemas

El psicólogo de la Gelstat Max Wertheimer comenzó una de las primeras investigaciones sobre cómo los científicos resuelven problemas con su innovador libro *Pensamiento productivo* (1945). Wertheimer mantuvo correspondencia durante bastante tiempo con Albert Einstein, intentando descubrir cómo éste concibió el concepto de relatividad. En esta fotografía se ve a Einstein en la época en que desarrolló la teoría de la relatividad, hace aproximadamente un siglo.

(Fotografía de *Science Photo Library*. Cortesía de Photo Researchers, Inc).

den aplicar —esto es, las acciones (frecuentemente mentales) que se pueden emprender— para llegar desde el estado inicial al estado objetivo (como puede ser buscar una ruta alternativa hasta el edificio de Psicología). Un sencillo ejemplo de problema que se ha utilizado frecuentemente en la investigación sobre resolución de problemas es la tarea de la Torre de Hanoi (véase la Figura 10-2), descrito también en el Capítulo 7. En el estado inicial, todas las arandelas se encuentran en la clavija 1 en orden de tamaño creciente de arriba a abajo. En el estado objetivo, las tres arandelas se encuentran en la clavija 3, colocadas en el mismo orden de tamaño. La única operación permitida es mover las arandelas de una clavija a otra. Las reglas: sólo se puede mover una arandela cada vez y no se puede situar una arandela mayor sobre una menor. Para sumarnos al reto, intentemos resolver mentalmente el problema, como en el experimento clásico, con el menor número posible de movimientos.

Intente el lector hacer una de las versiones electrónicas de la Torre de Hanoi que están disponibles en diversas páginas *web* y que computan sus movimientos, o utilice papel y lápiz. ¿Cuántos movimientos ha necesitado para conseguir su objetivo?, ¿existe algún otro conjunto de movimientos que le hubiera llevado a la meta? Se piensa que la Torre de Hanoi es representativa de muchos tipos de problemas, ya que la resolución no es obvia: se pueden utilizar muchas estrategias diferentes para resolver el problema y muchas de las mismas estrategias se utilizan en problemas de la vida

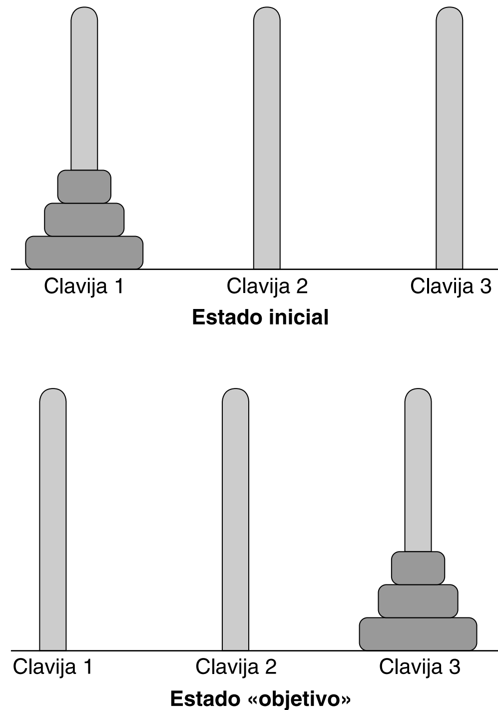



**FIGURA 10-2** La Torre de Hanoi

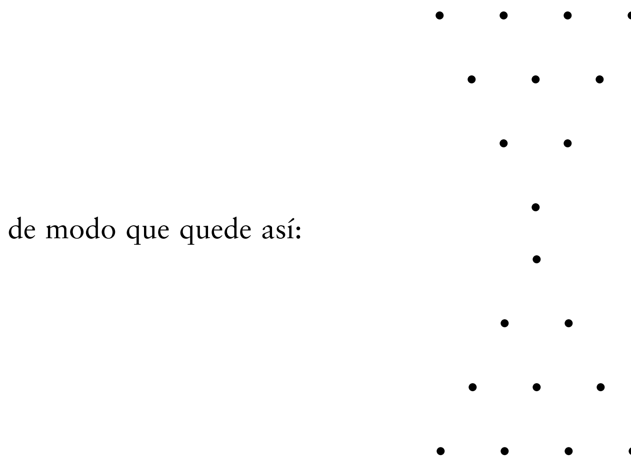
Este famoso problema lo ideó el matemático francés Edouard Lucas en 1883 y se ha empleado frecuentemente en estudios de resolución de problemas. En la versión de la tarea con tres arandelas, éstas se han de mover desde la clavija 1 (el estado inicial) a la clavija 3 (el estado «objetivo»), siguiendo ciertas condiciones: sólo se puede mover una arandela cada vez y nunca se puede colocar una mayor sobre otra menor.

real (como puede ser encontrar un camino alternativo para llegar al edificio de Psicología).

A los problemas (como en la Torre de Hanoi) en los cuales el estado inicial y el objetivo están claramente definidos y se sabe cuáles son los posibles movimientos (y las reglas restrictivas) se les llama **problemas bien definidos**. Muchos juegos, sin importar lo complicadas sean las reglas y lo alta que sea la cantidad de operaciones, son problemas bien definidos; el ajedrez es un buen ejemplo de ello.

Pero a veces no se puede estar seguro de las reglas, del estado inicial, de las operaciones e incluso, de la meta de un problema; a este tipo de problemas se les llama **mal definidos**. Un productor de Hollywood que quiera ganar el Oscar del próximo año tiene un problema enorme mal definido: ¿Cuál de los miles de guiones disponibles elegir?, ¿hacerlo con una estrella o con un desconocido brillante?, ¿cuál será la reacción más probable del público?, ¿será la producción tan costosa como para hacer justicia a la historia? Muchas de las situaciones de la vida real presentan problemas mal definidos, en los cuales no están claramente definidos el estado inicial y el objetivo, y los tipos de operaciones que se utilizan para alcanzar una meta no están excesivamente limitados por las reglas. La resolución de los problemas mal definidos supone un reto adicional a quien ha de resolver el problema: encontrar las *limitaciones* (es decir, las restricciones de la solución o de los medios por los que se puede conseguir) que se aplican a esa situación particular.

Un caso especial de un problema mal definido es el que se conoce como el **problema del *insight***[1], en el cual, a pesar de un total desconocimiento, la respuesta parece llegar de repente, en un destello de comprensión. Muchos científicos y artistas dicen haber estado trabajando en un problema durante meses o años sin hacer progreso alguno y al encontrarse en un estado de relajación o atendiendo a cualquier otro tema, encontrar repentinamente la solución. Los problemas de *insight* se utilizan con frecuencia en la investigación de resolución de problemas; los anagramas y las adivinanzas son ejemplos de problemas de *insight*. Intentemos hacer éste: hay que invertir el triángulo moviendo tan sólo tres puntos



de modo que quede así:

## 1.2. Teoría del espacio del problema

Hoy en día, la teoría principal que está en la base de la investigación sobre resolución de problemas es la *teoría del espacio del problema*, presentada por Allen Newell y Herbert Simon y descrita en su libro *Human Problem Solving* (1972). La resolución de problemas, según este enfoque, es una búsqueda dentro del **espacio del problema**, que es el conjunto de estados o de posibles elecciones a los que se enfrenta quien ha de resolver el problema en cada paso desde el estado inicial al estado objetivo. Quien ha de resolver el problema se mueve a través del espacio, de un estado a otro, mediante varias operaciones. Por lo tanto, el espacio del problema incluye el estado inicial, el estado objetivo y todos los posibles estados intermedios. El espacio del problema para la Torre de Hanoi de tres arandelas que se representa en la Figura 10-3 consiste en 27 estados posibles. Dos cosas son evidentes a partir del diagrama: existen varios itinerarios que nos pueden llevar del estado inicial al estado objetivo; el más corto requiere siete operaciones (es el que se sitúa en la parte derecha del diagrama —¿Es el que hemos elegido?—. Si se añaden dos arandelas, de forma que la torre tenga cinco, el espacio del problema pasa a tener 64 estados posibles.

En la Figura 10-3, los estados están numerados en orden para identificarlos y proporcionar el número total de ellos; estos números no indican una secuencia. Tampoco es importante la disposición espacial. Lo que importa es la distancia entre estados

[1] Percepción o entendimiento. En aprendizaje este término se refiere a darse cuenta de pronto de cuál es la solución de un problema (*N. del T.*).

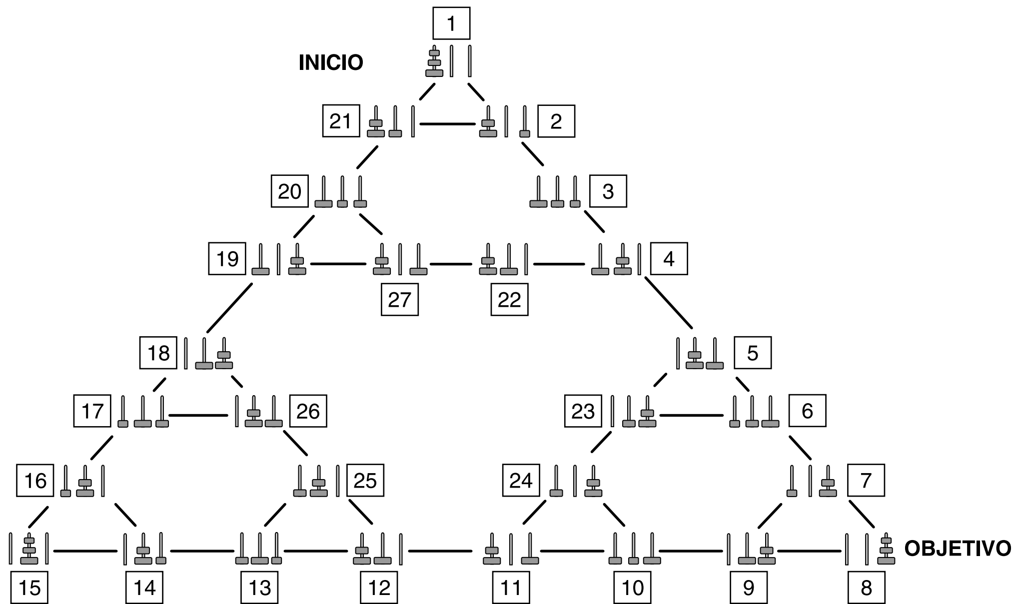



**FIGURA 10-3** Espacio del problema para la versión de tres arandelas de la tarea de la Torre de Hanoi

En esta figura se representan todas las situaciones posibles en la tarea de la Torre de Hanoi —pero, de hecho, tan solo se necesitan siete movimientos para llegar desde el estado inicial, en 1, al estado objetivo, en 8. Los números se emplean únicamente para identificar las diversas disposiciones de las arandelas; no siempre indican la mejor secuencia o disposición espacial ideal entre las etapas, aunque el camino 1-8 procura la solución más simple del problema. Más bien, esta figura muestra cuántas operaciones se requieren entre determinadas etapas.

—por ejemplo, el estado 5 es una operación diferente de los estados 6, 23 o 4—. El trabajo original de Newell y Simon en la resolución de problemas consistió en elaborar programas de ordenador que calculaban los mejores movimientos que se podían hacer en base a criterios no espaciales, tales como la similitud del movimiento elegido con el estado objetivo, y comparaban el resultado de estos programas con los movimientos que realizaban sujetos humanos que intentaban resolver el problema.

Problemas como los de la Torre de Hanoi y el ajedrez están muy restringidos, tienen reglas específicas y un estado inicial y un estado objetivo claramente definidos. ¿Se aplica la teoría del espacio del problema en dominios menos restringidos? —esto es, ¿se puede definir la resolución de problemas más complejos y de problemas peor definidos como una búsqueda de un espacio del problema?— Gran parte de la investigación más reciente sobre resolución de problemas ha explorado áreas complejas tales como la ciencia, la arquitectura y la escritura (Dunbar, 2000; Klahr, 2000). Los resultados indican que en dominios complejos, tales como la Biología molecular y la investigación sobre el cáncer, quienes han de resolver el problema investigan en más de un espacio del problema. De esta manera, cuando se trabaja en cuestiones científicas, por ejemplo, la teoría del espacio del problema en la resolución de problemas se ha ampliado para incluir espacios tales como un espacio de hipótesis para formular teorías, un espacio experimental para diseñar experimentos y un espacio de datos para interpretar resultados (Klahr, 2000). Los dominios menos restringidos son más semejantes a situaciones del mundo real que la Torre de Hanoi. Y una de las metas de los investigadores que estudian la resolución de problemas es entender los diferentes tipos de

espacio del problema que utilizamos en las diferentes tareas de las circunstancias de la vida real.

## 1.3. Estrategias y heurísticas

Un modo seguro de resolver un problema es utilizar un *algoritmo* (lo que se estudió en el Capítulo 9), un conjunto de procedimientos para resolver un determinado tipo de problemas que siempre, antes o después, dará lugar a la respuesta correcta. Las reglas para hallar la raíz cuadrada o realizar una larga división son algoritmos; también lo es la receta para un pastel de chocolate o un conjunto detallado de indicaciones que muestran el camino y los giros necesarios para tomar el camino más corto hacia el edificio de Psicología. Pero los algoritmos suelen precisar mucho tiempo y requieren muchos recursos, tanto de memoria operativa como de memoria a largo plazo.

Los investigadores que emplean en sus estudios problemas como la tarea de la Torre de Hanoi han encontrado que, más que utilizar algoritmos, los sujetos a menudo se valen de estrategias específicas o heurísticas cuando intentan resolver problemas. Una **heurística** es una regla general que habitualmente da la respuesta correcta —pero no siempre—. (Las heurísticas se discutieron también en el Capítulo 9). Una heurística que se utiliza comúnmente en la resolución de problemas es «moverse siempre hacia el objetivo». Este enfoque proporciona frecuentemente la solución, pero en ocasiones —como cuando se intenta alcanzar el edificio de Psicología enfrentándose a un impedimento temporal— es preciso moverse primero alejándose del objetivo para acercarse posteriormente a él y así alcanzar correctamente el objetivo final. (La sabiduría popular reconoce la verdad de esto en el dicho «El rodeo más largo es el camino más corto a casa»). El rompecabezas giratorio conocido como el cubo de Rubik es un problema para el cual no sirve la heurística de realizar movimientos que son similares al estado objetivo. Cada lado del cubo está formado por nueve cuadrados de color y existen seis colores. En el estado objetivo, todos los cuadrados de una misma cara han de ser del mismo color (existen versiones electrónicas del cubo del Rubik en Internet). El cubo es un tema de estudio interesante, dado que se requieren muchos pasos para resolverlo y porque con frecuencia es necesario apartarse del estado objetivo antes de conseguir el resultado que se desea. Por ejemplo, en el estado inicial del juego que se muestra en la Figura 10-4, cuando nos encontramos a 12 movimientos del objetivo final, tres de las seis caras son de un color uniforme, pero para llegar desde esta configuración hasta el estado objetivo se han de revolver las seis caras antes de llegar a la resolución final en nueve movimientos más.

Otras técnicas heurísticas utilizadas habitualmente en la resolución de problemas son la *búsqueda aleatoria,* la *escalada* y el *análisis medios- fin.* La más simple y que requiere menos recursos cognitivos es la **búsqueda aleatoria** (también conocida como *generar y probar*), que es esencialmente un proceso de ensayo y error: quien ha de resolver el problema elige al azar un movimiento y lo prueba para ver si se alcanza el estado objetivo. Investigadores de la escuela comportamental tradicional, entre ellos E. L. Thorndike (1874-1949), sugirieron que los animales y las personas resolvemos los problemas mediante ensayo y error, y elegimos al azar movimientos hasta que alcanzamos el estado objetivo. Aunque la búsqueda aleatoria parece ser una estrategia realmente ineficaz y que a menudo no tiene éxito, recurrimos a ella con frecuencia cuando falla todo lo demás. Es difícil resistirse a apretar teclas de forma aleatoria cuando nuestro ordenador se cuelga y no funciona ninguna de las soluciones —y *a*

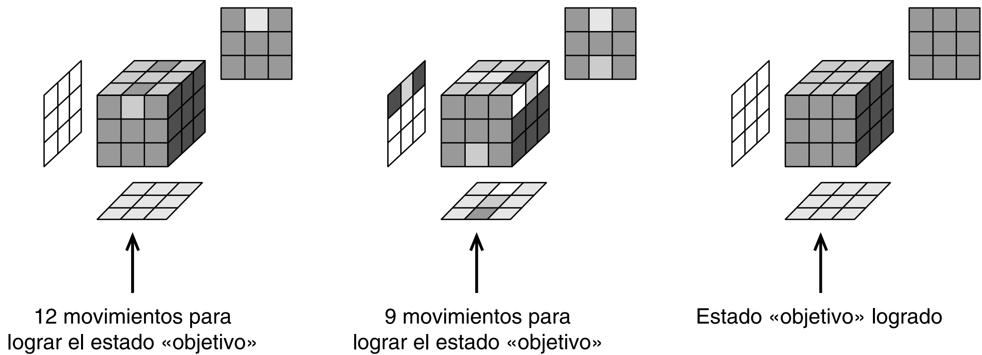



**FIGURA 10-4** Para resolver el cubo de Rubik

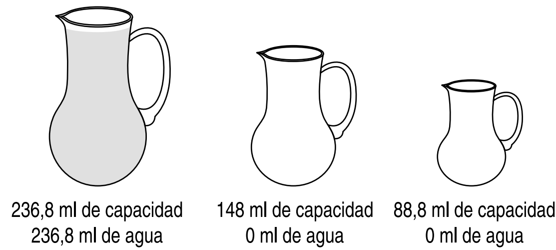
En ocasiones nos hemos de apartar del objetivo para poderlo alcanzar. Las tres caras del mismo color que se representan a la izquierda se han de deshacer para lograr que las seis caras sean uniformes.

*veces* esto funciona—. La búsqueda aleatoria es una técnica heurística que utilizamos cuando otras técnicas heurísticas, o bien no funcionan o bien demandan demasiados recursos cognitivos.

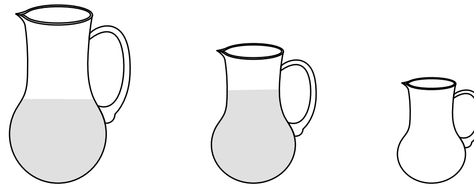
Con mayor frecuencia, utilizamos otra técnica heurística que depende más del conocimiento, la **escalada**, en la cual el sujeto que ha de resolver el problema se anticipa y elige el movimiento que reproduce más exactamente el objetivo final. Como en la escalada real de una montaña, cada paso parece acercarnos al objetivo final; pero si nos encontramos con una niebla espesa (en sentido figurado, si sólo podemos ver un movimiento por anticipado), podemos encontrarnos en lo alto de un pequeño altozano y no en la gran cumbre que queríamos escalar. ¿Qué ocurre si se aplica la escalada a la tarea de la Torre de Hanoi de tres arandelas? Veamos de nuevo la Figura 10-3 e imaginémonos en el estado 5. Nuestras únicas elecciones posibles son los estados 23 y 6. El estado 23 es más parecido al resultado final de lo que lo es el estado 6 —hay más arandelas en la clavija 3 en el estado 23 que en el estado 6— y así, si estamos utilizando la técnica de la escalada, optamos por el estado 23 y, sin embargo, este estado 23 está mucho más lejos del estado final de lo que lo está el estado 6. Así pues, la escalada, en este caso no es una estrategia efectiva para resolver el problema. La escalada suele ser una técnica heurística más fiable que la búsqueda aleatoria, pero en ocasiones puede llevar a extraviarse a quien la utiliza.

Un problema clásico que a menudo lleva a los sujetos a utilizar la estrategia de escalada es la tarea de la jarra de agua (Atwood y Polson, 1976; Colvin *et al*., 2001). Tenemos tres jarras de agua de diferente capacidad —236,8 ml, 148 ml y 88,8 ml—. En el estado inicial, la jarra de 236,8 ml está llena y las otras dos vacías. La tarea consiste en transvasar el agua desde la jarra mayor a las otras dos, de forma que se acabe con 118,4 ml de agua en la jarra mayor y en la intermedia y con la jarra menor vacía —éste es el estado objetivo—. Por otra parte, cada vez que se vierta agua en otra jarra, ésta se ha de llenar por completo. En la Figura 10-5 se representan la tarea y el espacio del problema en cuanto a los posibles movimientos.

Si se utiliza la estrategia de escalada, se utilizará un movimiento que ponga agua en las jarras grande e intermedia en cantidades parecidas a las del objetivo final. Así, se llena la jarra intermedia y llegamos a tener 88,8 ml de agua en la jarra grande, 148 ml en la intermedia y cero en la pequeña (situación identificada como R(3, 5, 0) en la Figura 10-5). Ciertamente, esta situación está más cerca del objetivo final de lo que

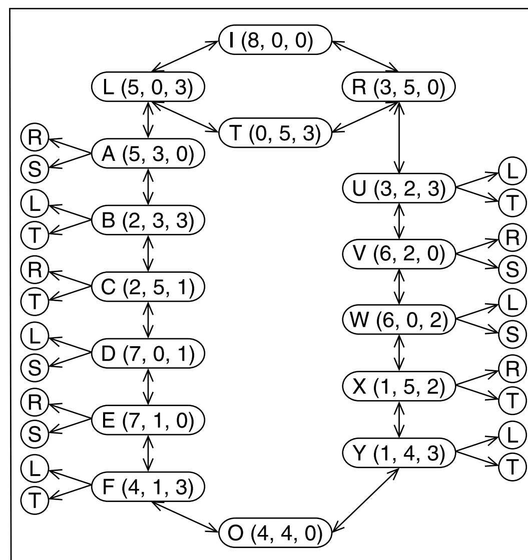



**Estado inicial**



**Estado «objetivo»**

(a)




(b)

**FIGURA 10-5** La tarea de la jarra de agua

(a) Los estados inicial y objetivo en la tarea de la jarra de agua. (b) El problema del espacio: movimientos posibles entre el inicio y el objetivo. Las anotaciones especifican la cantidad de agua en cada recipiente según se muestra de izquierda a derecha: así, el estado inicial se indica como I (8, 0, 0) y el objetivo como O (4, 4, 0). Las letras en la parte izquierda de los paréntesis precisan cual es el estado actual y las letras que señalan las flechas procedentes del estado actual se refieren a los posibles estados siguientes; por ejemplo, del estado actual B (2, 3, 3), los posibles movimientos son a L (5, 0, 3) o a T (0, 5, 3)

(Mary Kathryn Colvin, Kevin Dunbar, y Jordan Grafman: efectos de las lesiones en el lóbulo frontal en la consecución de metas en la tarea de la jarra de agua. *Journal of Cognitive Neuroscience, 13*: 8 (November 15, 2001), pp. 1129-1147. © 2001, Massachusetts Institute of Technology. Reimpreso con autorización).

estaba en el estado inicial, pero ahora la técnica de escalada nos falla. Cualquier movimiento que se haga a partir de esta situación nos llevará, por así decirlo, *cuesta abajo*, lejos del resultado deseado. Llegados a este punto, los sujetos suelen intentar volver a iniciar la tarea, moviéndose en esta ocasión lejos del estado objetivo y llenando la jarra pequeña. Así pues, la estrategia de escalada, al igual que la estrategia de búsqueda aleatoria, es un camino fácil, pero con frecuencia ineficaz, de intentar resolver un problema.

Una técnica más rigurosa, pero que logra mejores resultados, es la del **análisis medios-fin** en la cual el problema se descompone en subproblemas. Si un subproblema no se puede solucionar en una primera etapa del análisis, se descompondrá sucesivamente hasta que se encuentre un subproblema que se pueda resolver. Al aplicar el análisis medios-fin a la tarea de la Torre de Hanoi con tres arandelas, se puede definir el objetivo principal como conseguir situar las tres arandelas en la clavija 3 (véase de nuevo la Figura 10-2). Para lograrlo, ha de conseguirse situar adecuadamente la arandela mayor en la clavija 3; sin embargo, en el estado inicial esta arandela no se puede mover: la arandela mediana lo impide. Intentemos otra submeta: quitar del medio la arandela mediana. Pero de nuevo, el movimiento no es posible; en esta ocasión porque la arandela pequeña lo impide. ¿Cuál será la siguiente submeta? Mover la arandela pequeña. Esto se puede hacer, ya que nada se interpone. Pero, ¿a dónde moverla? —¿a la clavija 2 o a la 3?—. Se han de considerar con anticipación las consecuencias de cada uno de estos movimientos. Si se mueve la arandela pequeña a la clavija 3 (estado 2 en la Figura 10-3), entonces la arandela intermedia se puede mover a la clavija 2 (estado 3) y así sucesivamente. Lo que hemos hecho en este proceso ha sido establecer objetivos y subobjetivos hasta que se ha resuelto todo el problema.

Hasta que se dispuso de las técnicas de neuroimagen, a finales de los ochenta, se utilizaban tres métodos principales para entender cómo resolvemos los problemas. El primero y más obvio es registrar la conducta de resolución de problemas (siempre y cuando los movimientos no se realizaran «de cabeza»). Los investigadores podían registrar, en secuencia, cada movimiento que realiza quien resuelve un problema hasta llegar a alcanzar una solución. Mediante este método, los investigadores pueden trazar en cada caso un gráfico del tiempo empleado en resolver un problema determinado y de los diferentes tipos de movimientos que adopta quien resuelve el problema.

Un segundo enfoque comportamental, desarrollado en los años setenta, es el **análisis del protocolo verbal**, el análisis del proceso del pensamiento del que resuelve el problema según lo describe él mismo en voz alta mientras trabaja en el problema (Ericcson y Simon, 1984). Se graba en vídeo, en audio o de los dos modos a la persona que se enfrenta al problema. Luego los investigadores transcriben el protocolo y analizan la transcripción para determinar los modos en los que esta persona se representó dicho problema y la secuencia de pasos que empleó, para deducir el espacio del problema para el sujeto.

Un tercer enfoque se basa en los ordenadores, elaborando programas que reproducen la estrategia a la que presumiblemente recurren las personas para resolver un problema y comparando después los resultados a los que llega el ordenador con los movimientos realizados por la persona. En los modelos informáticos, o computerizados, es imprescindible expresar de forma explícita cada paso del proceso de resolución de problemas. Se han utilizado para simular las tres técnicas heurísticas de resolución de problemas: la búsqueda aleatoria, la escalada y el análisis medios-fin. Muchos investigadores, en particular el difunto Herbert Simon (ganador del Premio Nobel) y sus

colegas de la *Carnegie Mellon University*, han utilizado los tres métodos de investigación para entender el proceso de resolución de problemas. Los problemas que han examinado abarcan desde la Torre de Hanoi hasta el descubrimiento del ciclo de la urea (mediante el análisis de las notas de laboratorio del descubridor, el bioquímico y Premio Nobel Hans Krebs) (Kulkarni y Simon, 1988; Newell y Simon, 1972).

## 1.4. Papel de la memoria operativa y los procesos ejecutivos

¿Qué conjuntos específicos de representaciones y procesos podrían estar implicados en la resolución de problemas? Mediante técnicas de TEP, PP y RMf (véase el Capítulo 1) y estudiando tanto sujetos con lesión cerebral como sujetos sanos, los investigadores han intentado llegar a comprender la naturaleza de los procedimientos cognitivos que se utilizan en resolver problemas de memoria operativa. Consideremos los diferentes procesos a los que al parecer se recurre en una tarea como la Torre de Hanoi. Quien ha de resolver el problema debe determinar qué operaciones se precisan para alcanzar el estado objetivo. Esto requiere mantenerse en la búsqueda del objetivo y de los subobjetivos. Una tarea semejante requiere considerable memoria operativa y por lo tanto sería de esperar un grado de activación significativo en las áreas que habitualmente se relacionan con la memoria operativa (por ejemplo, la corteza prefrontal dorsolateral; véase el Capítulo 6). Las investigaciones con neuroimagen han confirmado esta predicción. Aplicando una versión modificada de la tarea de la Torre de Hanoi a sujetos sanos, los investigadores han encontrado que la activación cerebral en la corteza prefrontal dorsolateral derecha, en la corteza parietal bilateral y en la corteza premotora bilateral aumenta a medida que la tarea se hace más compleja (Finchan *et al.*, 2002) (véase la Figura 10-6). Estas regiones se han visto profundamente involucradas en la memoria operativa y en los procesos ejecutivos (véase el Capítulo 7), lo que subraya la estrecha relación existente entre dichos sistemas y la resolución de problemas.

Varios estudios han examinado asimismo la resolución de problemas en pacientes con daño cerebral localizado. Los pacientes con una lesión en los lóbulos frontales tienen grandes dificultades en utilizar el análisis medios-fin para resolver el problema de la Torre de Hanoi (Goel y Grafman, 1995). Los pacientes frontales también tienen dificultades para aplicar la técnica heurística de escalada en la tarea de las jarras de agua: les resulta difícil recordar los movimientos que ya han hecho y no pueden aprender los movimientos que han de evitar, repiten una y otra vez los mismos movimientos sin acercarse a la solución. A partir de estos estudios, está claro que los lóbulos frontales participan en el procesamiento de la memoria a largo plazo y el de la memoria operativa durante la resolución de los problemas y durante la ejecución de los planes para resolver un problema.

## 1.5. Cómo resuelven problemas los expertos

También se ha aprendido mucho sobre la resolución de problemas comparando expertos y principiantes. Los expertos saben más que los principiantes en su campo de trabajo, y se supone que esto es de gran ayuda para resolver problemas en su campo. Una pregunta interesante es si la pericia, o experiencia, proporciona algo más que

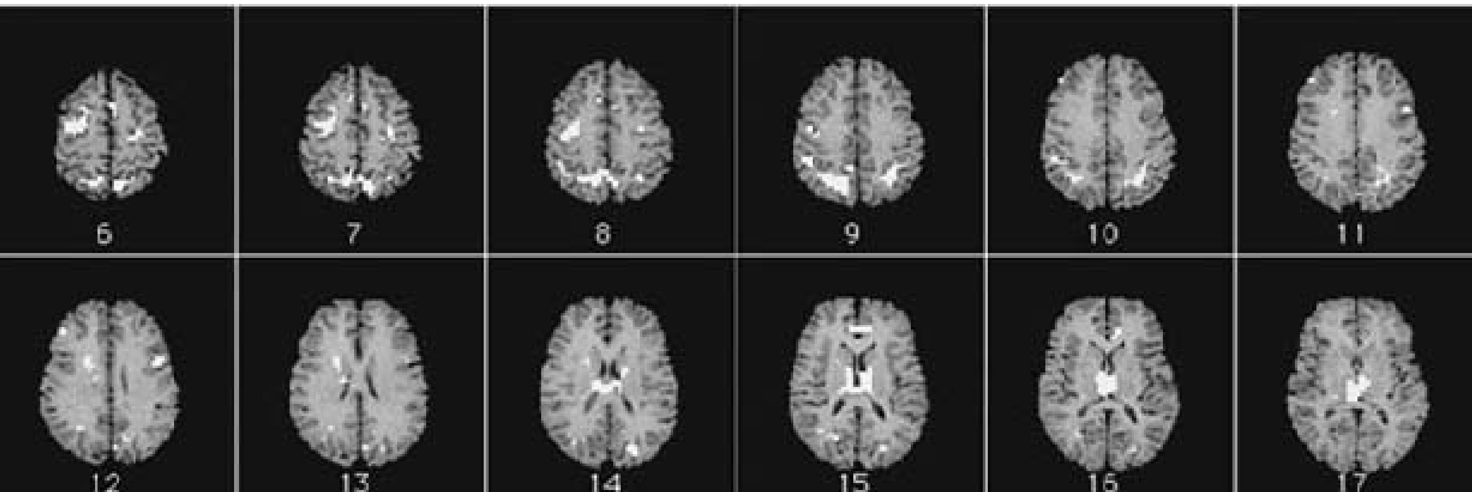



**FIGURA 10-6** Datos de RMf en el procesamiento dirigido a un objetivo

El procesamiento dirigido a un objetivo se distribuye a lo largo de la corteza prefrontal, la corteza parietal, la circunvolución del cíngulo y estructuras subcorticales (núcleo caudado derecho y tálamo). Las secciones del cerebro que se muestran en la fotografía están ordenadas de arriba (n.° 6) a abajo (n.° 17); el lado izquierdo de cada imagen es el lado derecho del cerebro y viceversa. La activación cerebral aumentó a medida que los problemas se hicieron más complejos.

(Fincham, J. M. Carter, C. S. van Veen, V., Stenger V. A. y Anderson J. R. (2002). Mecanismos neurales de la planificación: análisis por ordenador utilizando RMf durante la realización de una tarea. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 99*, 3346-3351. Reimpreso con autorización).

simple información adicional; esto es, ¿tienen los expertos estrategias especializadas para resolver problemas de las que carecen los principiantes? La respuesta es que sí.

La primera información adicional es la organización del conocimiento de los expertos en su campo de experiencia, que es diferente de la que tienen los principiantes. Los principiantes en un campo organizan frecuentemente los conceptos en términos de las características superficiales del problema, mientras que los expertos organizan su conocimiento en términos de principios abstractos más profundos. En un estudio clásico sobre la pericia (Chi *et al.*, 1981), se les presentó a estudiantes de física principiantes y avanzados una serie de problemas de física y se les pidió que los ordenaran por categorías similares (véase la Figura 10-7). Los estudiantes principiantes agruparon los problemas que implicaban las mismas características físicas, adjudicando las tareas con bloques a una categoría y las tareas que implicaban elasticidad a otra. Los estudiantes licenciados realizaron la tarea de una forma muy diferente: clasificaron los problemas en términos de conceptos físicos, tales como la conservación de la energía.

Un segundo tipo de información adicional que utiliza una persona que resuelve un problema en un campo en el que es experto se observa en la codificación: los expertos y los principiantes no codifican la información del mismo modo. En un importante estudio sobre la pericia, se presentó durante cinco segundos un tablero con piezas de ajedrez en distintas posiciones a jugadores de diferentes niveles. Posteriormente se les pidió a los sujetos que reconstruyeran en un segundo tablero la posición de las piezas (Chase y Simon, 1973). Los investigadores hallaron que los expertos eran mejores que los principiantes en la reconstrucción sólo cuando las disposiciones originales de las piezas correspondían a las de un juego real; los expertos no eran mejores que los principiantes cuando las piezas de ajedrez se ordenaban al azar. Igualmente, los expertos en ajedrez podían recordar mucho mejor las posiciones de un juego real que situaciones en las cuales las piezas se habían colocado al azar. Los jugadores de ajedrez principiantes, sin embargo, no lo hacían mejor con posiciones reales que con posiciones aleatorias. Los investigadores argumentaron que los jugadores de ajedrez expertos lo hacían mejor debido a que eran capaces de codificar la posición de muchas piezas en una unidad o «agrupación» —y que eran capaces de hacer esto debido a que las disposiciones de un juego real «tenían sentido» en los términos de las reglas del ajedrez, mientras que las disposiciones aleatorias no lo tenían—. Esta habilidad para agrupar

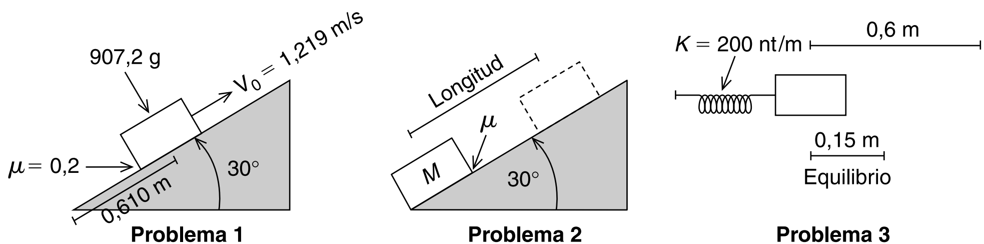



**FIGURA 10-7** ¿Qué problema es la excepción?

Los «principiantes» (estudiantes universitarios de física) agruparon los problemas 1 y 2 basándose en la aparente similitud visual a «bloques» en un «plano inclinado» de ambos dibujos. Los licenciados en física, sin embargo, se dieron cuenta de que sólo podían agruparse los problemas 1 y 3: ambos se relacionan con la conservación de la energía.

(Chi, M. T. H., Feltovich, P. J. y Glaser, R. (1981). Categorización de problemas de física por expertos y novatos. *Cognitive Science, 5,* 121-152. Reimpreso con autorización).

la información es un distintivo de los expertos, desde los arquitectos hasta los zoólogos. Los expertos agrupan la información y pueden acceder a agrupaciones de conocimiento relacionadas desde la memoria a largo plazo, lo que hace que resuelvan los problemas de un modo más eficaz.

Otra diferencia entre alguien que se enfrenta a un problema según sea experto o principiante se relaciona con la dirección de la búsqueda en el espacio del problema. Los expertos tienden a emplear una **búsqueda hacia delante**, esto es, buscan desde el estado inicial hacia el objetivo. Un médico con experiencia, por ejemplo, trabaja desde los síntomas hacia el diagnóstico. Un estudiante de Medicina utiliza generalmente una **búsqueda hacia atrás**, desde el objetivo del diagnóstico hasta los síntomas que constituyen el estado inicial (Arocha y Patel, 1995). También es posible, en cuanto a las personas y a los ordenadores, trabajar simultáneamente desde el estado objetivo (búsqueda hacia atrás) y desde el estado inicial (búsqueda hacia delante). Muchos programas de ordenador, como el programa de ajedrez de *IBM Deep Blue*, utilizan una combinación de estrategias de búsqueda para elegir un movimiento.



*Control de comprensión*



1. ¿Cuál es la diferencia entre utilizar una estrategia de escalada y una de análisis medios-fin para resolver un problema?
2. ¿Qué es el espacio del problema?

# 2 Razonamiento analógico

Las personas no siempre tratan de resolver un problema utilizando el tipo de técnicas heurísticas que se han descrito en el apartado anterior. En vez de ello, a veces intentan pensar en la solución de un problema similar. ¿Qué haremos si queremos usar nuestro ordenador portátil, que tiene un cierre pero hemos perdido la llave?, ¿intentaremos una búsqueda aleatoria o nos daremos cuenta de la similitud existente entre el cierre del ordenador y el de un candado para bicicletas, recordando que los ladrones de bicicletas utilizan un bolígrafo para abrir ese tipo de cerraduras? «¡Ajá! «, pensamos, «lo voy a intentar con un bolígrafo» —y en un momento hemos abierto el ordenador—. Esto es un *razonamiento analógico*. En el razonamiento analógico, en vez de partir de cero utilizando técnicas heurísticas tales como el análisis medios-fin, se intenta pensar en un problema de características similares que haya sido resuelto con anterioridad, y se utiliza o se adapta la solución al caso presente. La cuestión en este caso es «¿puede una resolución que sirvió para un problema, resolver un segundo?». Así pues, el **razonamiento analógico** suele ser un proceso de comparación, en el que se utiliza el conocimiento de un dominio relativamente conocido («la fuente», como los ladrones de bicicletas en la situación anterior) y se aplica a otro dominio («el objetivo», o sea nuestro ordenador bloqueado) (Clement y Gentner, 1991; Spellman y Holoak, 1996). En la Figura 10-8 se presenta una analogía famosa en el campo científico, aunque en algunos aspectos ahora está desfasada.

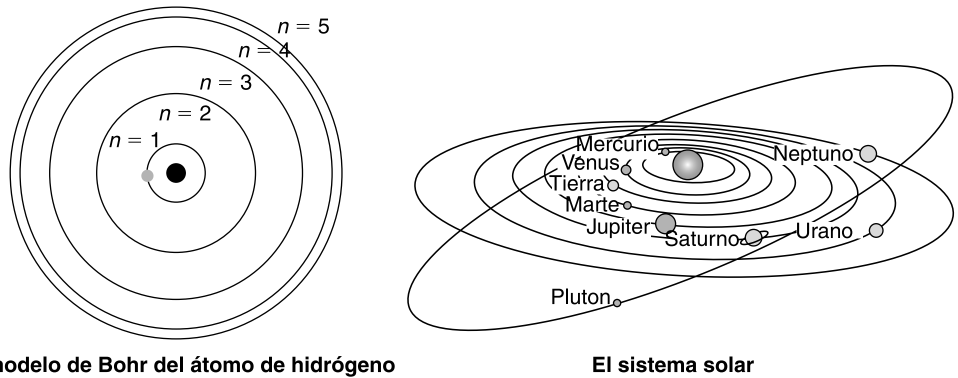



**FIGURA 10-8** El átomo y el sistema solar

Quizá una de las analogías científicas más famosas es la comparación del átomo con el sistema solar, formulada originalmente por el físico danés Niels Bohr (1885-1962). Explicó el espectro de emisión del hidrógeno representando el átomo de hidrógeno como un sistema solar siendo el núcleo -un único protón- el sol, y su electrón un planeta que orbita alrededor del núcleo a diversas distancias y energías fijas. La energía se emite cuando el electrón salta de una órbita exterior a otra interior. (La mecánica cuántica moderna ha reemplazado las órbitas por niveles de energía, pero la consistencia de la analogía de Bohr transformó el pensamiento científico sobre el átomo).

## 2.1. El uso de analogías

Permítasenos utilizar un ejemplo del mundo de los ordenadores que proporciona un buen entendimiento de cómo funciona el razonamiento analógico. Consideremos el problema de desarrollar un medio de proteger los ordenadores de los virus. Se han elaborado vacunas para proteger a los seres humanos de las infecciones virales; ¿será posible desarrollar una vacuna para ordenadores? La respuesta es que sí: mediante el razonamiento por analogía con la acción de los virus biológicos, los científicos en el campo de los ordenadores han hecho eso mismo. Por supuesto, hay diferencias entre los virus de ordenador y los biológicos: un virus no hace que un ordenador tenga fiebre o una nariz que gotea. Pero, en sus cimientos, o en sus características estructurales, los virus de ordenador y los biológicos tienen importantes elementos en común: son contagiosos o infecciosos, se pueden autorreplicar con los medios de su anfitrión y pueden causar daños a éste. (La información estructural especifica habitualmente una relación entre diferentes entidades, al igual que la que existe entre un virus y su anfitrión). Así pues, el razonamiento analógico implica identificar y transferir información estructural de un sistema conocido (en este ejemplo, los virus biológicos) a un sistema nuevo (en este ejemplo, los virus de computador). Muchos investigadores han argumentado que esta similitud estructural es una de las características que definen la analogía (Gentner y Markman, 1997).

En general se piensa que el razonamiento analógico comprende cinco subprocesos:

1. *Recuperación*: Se mantiene un objetivo (como el de los virus de los ordenadores) en la memoria operativa mientras se accede a un ejemplo similar, más familiar (como son los virus biológicos) extrayéndolo de la memoria a largo plazo.
2. *Cartografía*: Mientras se mantienen la fuente y el objetivo en la memoria operativa, se alinean éstos y se traza el mapa de las características de la fuente (tales como: «es contagioso», «se duplica» y «es dañino») en el objetivo.

3. *Evaluación:* Se decide si es probable que la analogía resulte útil.
4. *Abstracción:* Se aísla la estructura que comparten fuente y objetivo.
5. *Predicciones:* Se construyen hipótesis sobre el comportamiento o las características del objetivo a partir de lo que se conoce de la fuente (por ejemplo, se predice a partir de cómo se comportan los virus biológicos que los virus de ordenador pueden cambiar sus características superficiales para evitar que se los detecte).

Estos cinco componentes del razonamiento analógico se han investigado de forma intensiva durante los últimos 25 años y han llevado a realizar muchos experimentos importantes y a formular modelos de ordenador. Una de las primeras investigaciones cognitivas del razonamiento analógico fue la que llevaron a cabo Mary Gick y Keith Holyoak en 1980. Estos investigadores presentaron a los sujetos un problema y su resolución en forma de historia. Unos pocos minutos después, tras una tarea intercalada que no estaba relacionada, se presentó a los estudiantes una segunda historia, pero esta vez no tenía una solución. La primera historia versaba sobre un general que estaba planeando dirigir a su ejército para atacar a un dictador que vivía en una fortaleza. Una serie de caminos convergía en la fortaleza, pero el dictador los había minado todos ellos de forma que cualquier ejército grande que viajara por un camino sería destruido. El general agresor dividió su ejército en pequeños grupos de forma que no fueran lo suficientemente pesados como para disparar las minas y envió dichos grupos por todos los caminos. Una vez que alcanzaron ilesos la fortaleza, los soldados se reagruparon y capturaron al dictador.

La segunda historia se refería a un paciente con un tumor estomacal. Los doctores tenían un potente rayo láser que podía eliminar el tumor, pero era tan potente que destruiría también el tejido sano. Se pidió a los sujetos que sugirieran un método por el cual los doctores pudieran destruir el tumor sin afectar al tejido sano (¿Qué opina el lector? Por supuesto, el hecho de que se mencione este estudio en una exposición del razonamiento analógico proporciona una pista muy significativa, de la que no disponían los sujetos del experimento). La solución que Gick y Holyoak (1980) estaban buscando era una solución de convergencia análoga a la de la primera historia: al igual que el general dividió su ejército en pequeños grupos para poder viajar con seguridad y luego los reagrupó en una fuerza poderosa, el rayo láser se puede dividir en un conjunto de rayos de menor potencia, enfocados todos ellos en el punto originario de la enfermedad, donde han de converger para eliminar el tumor. Sólo el 20% de los sujetos que conocían la historia del general y el dictador consideraron que el problema del tumor y el rayo láser eran similares y llegaron a una solución de convergencia. A primera vista, los dictadores y los tumores no se parecen mucho. Cuando las características superficiales de la historia fuente eran más similares a los del problema objetivo, el 90% de los sujetos llegaron a una solución de convergencia (Holyoak y Thagard, 1995). Parece ser que cuando un problema fuente tan sólo comparte similitud estructural (p. ej., similitud respecto a la relación entre las partes) con el objetivo, muchos menos sujetos reconocen la analogía; cuando las características superficiales también son parecidas, mucho más sujetos son capaces de recuperar una analogía de relevancia.

Otra aproximación al estudio de la analogía, utilizada por Dedre Gentner y sus colaboradores, ha sido investigar los factores que influyen en la recuperación de fuentes en la memoria. Por ejemplo, se les presenta a los sujetos una serie de historias que han de leer (Gentner *et al.*, 1993). En una de ellas, un halcón es atacado por un caza-

dor del cual termina siendo amigo al entregarle alguna de sus plumas. Después de este acto de generosidad, el cazador libera al halcón. Una semana más tarde los sujetos leyeron otras historias. Algunas de estas nuevas historias tenían la misma estructura subyacente, otras compartían con la historia original tan sólo características superficiales. Una de las historias con una estructura similar era sobre un país, «Zerdia» que es atacado por el país de «Gragach»; «Zerdia» ofrece compartir sus ordenadores con «Gragach» y los dos países se convierten en aliados. Una de las historias que aparentemente era similar, pero estructuralmente distinta, a la historia del halcón trataba sobre un cazador al que le gustaba pescar y comer jabalí. Cuando se les preguntó a los sujetos qué historias les recordaban a la primera que habían escuchado, la mayoría de ellos eligió historias que compartían características superficiales y no aquellas que tenían conjuntos subyacentes compartidos de relaciones estructurales. Pero cuando se les preguntó a los mismos sujetos qué historias eran similares analógicamente, mencionaron las historias que tenían estructuras subyacentes similares.

Dunbar y Blanchette (2001) hallaron que los científicos, los políticos y los estudiantes pueden usar tanto las características estructurales como las superficiales de un problema, pero es más probable que utilicen las características estructurales cuando generan sus propias analogías y las características superficiales cuando reciben analogías ya hechas. Además, Dunbar y Blanchette (2002) encontraron que los estudiantes llegan a hacer analogías de forma automática e inconsciente.

## 2.2. Teorías sobre el razonamiento analógico

Se han propuesto una serie de trascendentales teorías sobre el razonamiento analógico, todas las cuales se pueden implementar en modelos de ordenador que expresan claramente los mecanismos que se piensa que están involucrados. Dos de los más importantes son la Teoría de la Cartografía de la Estructura (TCE) (Falkenhainer *et al.*, 1989; Gentner, 1983) y el modelo del Aprendizaje y Deducción con Esquemas y Analogías (ADEA) (Hummel y Holyoak, 1997, 2003). Ambos modelos tratan el razonamiento analógico como la cartografía de elementos a partir de una fuente hasta un objetivo, y los dos proponen una búsqueda de memoria a largo plazo a partir de una fuente que tenga la misma estructura subyacente que la del objetivo.

El *modelo TCE* consta de dos etapas. En la primera, se busca la memoria a largo plazo de posibles fuentes que tengan las características superficiales que figuran en el objetivo. Por ejemplo, en la analogía entre los virus biológicos y los de ordenador, se podrían buscar memorias de elementos tales como *teclado, ratón, no funciona, eléctrico* e *infeccioso*. La segunda etapa es la evaluación: cuán bueno es el emparejamiento que existe entre lo que se ha recuperado en la primera etapa y el objetivo. El modelo TCE tal como lo simula un ordenador se comporta en gran medida como los sujetos humanos: han de existir muchos emparejamientos superficiales, la mayoría de ellos relacionadas con ordenadores en buen y en mal funcionamiento, y posiblemente un emparejamiento útil, tal como *infeccioso*. La asunción principal del modelo TCE es que aunque la similitud estructural es el componente clave del razonamiento analógico, el sistema cognitivo humano busca emparejamientos superficiales cuando busca memorias para posibles fuentes, y nos resulta difícil recuperar analogías correlativas acertadas.

El *modelo ADEA* da razón del mismo tipo de datos, pero utiliza un mecanismo de cómputo muy diferente que se parece a las redes neurales descritas en capítulos ante-

riores en que las características, tanto de la fuente como del objetivo, se pueden considerar como nódulos de una red. Así, el objetivo se representa en términos de las activaciones de características de la fuente: *virus de ordenador* activará, por ejemplo, las características de *mal funcionamiento, dañino y se duplica*. Esta activación simultánea de una serie de características en la memoria operativa produce la activación de constelaciones de características similares en la memoria a largo plazo, lo que conduce a la recuperación de una fuente análoga tal como *virus de la gripe*.

Existen otros modelos de razonamiento analógico. Es difícil determinar qué tipos de modelos reflejan con más exactitud el razonamiento analógico, pero la investigación basada en el cerebro puede dar la respuesta.

## 2.3. Mas allá de la memoria operativa

A partir de los análisis comportamentales, se sabe ahora que el razonamiento lógico exige muchos recursos de atención y memoria. En primer lugar, debemos atender a las similitudes superficiales y estructurales apropiadas entre la fuente en el objetivo; después debemos mantener una representación del objetivo en la memoria operativa y buscar una memoria a largo plazo de la analogía apropiada. ¿Están las regiones cerebrales implicadas en la atención, la memoria operativa y la búsqueda de memorias a largo plazo —específicamente, la corteza prefrontal— considerablemente implicadas en el razonamiento analógico? Para responder a esta pregunta se diseñó un estudio de exploración con TEP (Wharton *et al*., 2000).

En cada ensayo, se les presentó a los sujetos, primero, un dibujo fuente y luego un dibujo objetivo. Había dos condiciones, *analogía* y *comparación literal*. En la condición analógica, los sujetos tenían que decidir si el dibujo objetivo era análogo a la fuente. En cada ensayo en el cual el objetivo y la fuente eran realmente análogos, los dibujos contenían objetos diferentes pero compartían el mismo sistema de relaciones. En la condición de comparación literal, a los sujetos simplemente se les pedía que decidieran si la fuente y el objetivo eran idénticos. Cuando los investigadores compararon el grado de activación en la condición de analogía con el que tenía lugar en la condición literal, encontraron una activación significativa en la corteza frontal medial y en la circunvolución frontal inferior (ambas son parte de la corteza prefrontal), así como en la región anterior de la ínsula y en la inferior de la corteza parietal. Se sabe que la corteza prefrontal y la corteza parietal están profundamente implicadas en tareas que requieren atención y memoria operativa.

Pero ¿es el razonamiento analógico meramente un producto de la atención y de la memoria operativa, y nada más?, ¿cómo podemos responder esta pregunta? Un modo puede ser buscar una relación neural específica que disocie el componente relacional del razonamiento analógico de la memoria operativa. Esta fue la aproximación seguida por los investigadores que llevaron a cabo un estudio de RMf, en el cual la carga de la memoria operativa y la complejidad estructural de una analogía se variaban de forma independiente (Kroger *et al*. 2002). Tal y como se esperaba, aumentar la carga de la memoria operativa resultó en un aumento de la activación en la corteza parietal y la prefrontal dorsolateral. Además, se observó una activación significativa y exclusiva en la corteza prefrontal anterior izquierda cuando se aumentaba la complejidad estructural al tiempo que se mantenía constante la carga de la memoria operativa. Estos datos demuestran que el componente relacional del razonamiento analógico representa una capacidad cognitiva que recluta la actividad de tejido neural en mayor grado

que la atención y la memoria operativa. Es este un buen ejemplo de cómo la tecnología de neuroimagen nos puede proporcionar nuevos datos informativos sobre la cognición. Examinando los correlatos neuroanatómicos de los procesos que componen el razonamiento analógico (esto es, la memoria operativa y la abstracción, las cuales se requieren para descubrir las relaciones estructurales), podemos empezar a analizar cómo se consigue dicho razonamiento.



*Control de comprensión*



1. ¿Cuáles son los cinco subprocesos del razonamiento analógico?
2. ¿Cuál es el papel de la memoria operativa en el razonamiento analógico?

# 3 Razonamiento inductivo

Cualquier proceso de pensamiento que utilice nuestro conocimiento de circunstancias específicas conocidas para realizar una deducción sobre circunstancias desconocidas es un caso de **razonamiento inductivo**. Los tipos comunes de razonamiento indicativo se basan con frecuencia en las **inducciones basadas en categorías**: bien generalizando desde circunstancias conocidas a *todas* las circunstancias (lo que es una inducción general), o bien generalizando desde algunos miembros de una categoría, de la que se sabe que tiene una cierta propiedad, a otros casos de esa categoría (lo que es una inducción específica). Si se han visto tres partidos violentos de fútbol americano y se concluye que todos los partidos de fútbol son violentos, se ha realizado una *inducción general*. Si se ve al equipo del Alma Mater College jugar un partido violento este fin de semana y, por lo tanto, se cree que en el equipo del College of the Gridiron, que tiene planificado un partido para el próximo sábado, también jugará de forma violenta, entonces se ha realizado una *inducción específica*.

Ningún proceso inductivo puede ser siempre cierto: no podemos conocer todos los casos que existen, cualquiera de los cuales puede contradecir la generalización. En ambos tipos de inducción estamos utilizando nuestras deducciones para añadir nuevo conocimiento, *el cual, aunque posible, puede ser incorrecto*, a nuestro conocimiento global.

## 3.1. Inducciones generales

A principio de los años ochenta, los investigadores médicos estaban intentando identificar la causa de una nueva enfermedad misteriosa, pronto llamada SIDA. Atacaba a diferentes poblaciones: hombres jóvenes homosexuales, consumidores de drogas por vía intravenosa, hemofílicos, haitianos, niños y receptores de transfusiones sanguíneas. El único factor común a todos estos pacientes era una disminución muy llamativa de los linfocitos T, un tipo de glóbulos blancos de la sangre (Prusiner, 2002). A partir de estos casos, se hizo una predicción y se propuso que la causa de la enfermedad era un agente infeccioso que atacaba a estos linfocitos tipo T. El enfoque de los investigadores para resolver el problema del SIDA utilizaba una inducción general a partir de una cierta cantidad de casos. Este tipo de inducción ocurre al resolver mu-

chos tipos diferentes de problemas, desde concluir una generalización sobre la honestidad de un amigo (por necesidad —posiblemente no se puede tener conocimiento de todas las circunstancias), hasta los descubrimientos científicos. Los psicólogos cognitivos han investigado las dos estrategias que utilizamos para hacer estas generalizaciones y los errores en los que podemos incurrir cuando lo hacemos.

La investigación sobre la inducción general comenzó de forma efectiva durante los años cincuenta. En un estudio pionero, los investigadores recurrieron a una tarea muy parecida al Mastermind: a partir de los datos que proporcionaba el experimentador, los sujetos tenían que descubrir las reglas del juego mediante la realización de inducciones generales (Bruner *et al.*, 1956). (Para experimentar las sensaciones de la tarea se pueden jugar algunas partidas de Mastermind; existen versiones funcionales en Internet).

En la tarea se empleaba una baraja de cartas que variaba en cuatro dimensiones, con tres posibilidades para cada atributo: color (blanco, negro o gris); número de elementos en una carta (uno, dos o tres); forma del elemento (círculos, cruces o cuadrados); y número de bordes (uno, dos o tres). Así pues, había 3 × 3 × 3 × 3 combinaciones posibles de atributos y por lo tanto la baraja tenía 81 cartas o casos (véase la Figura 10-9).

En una versión de la tarea, las cartas se disponían boca arriba y el experimentador determinaba arbitrariamente una regla —por ejemplo, «rojo y cuadrado»—, pero no

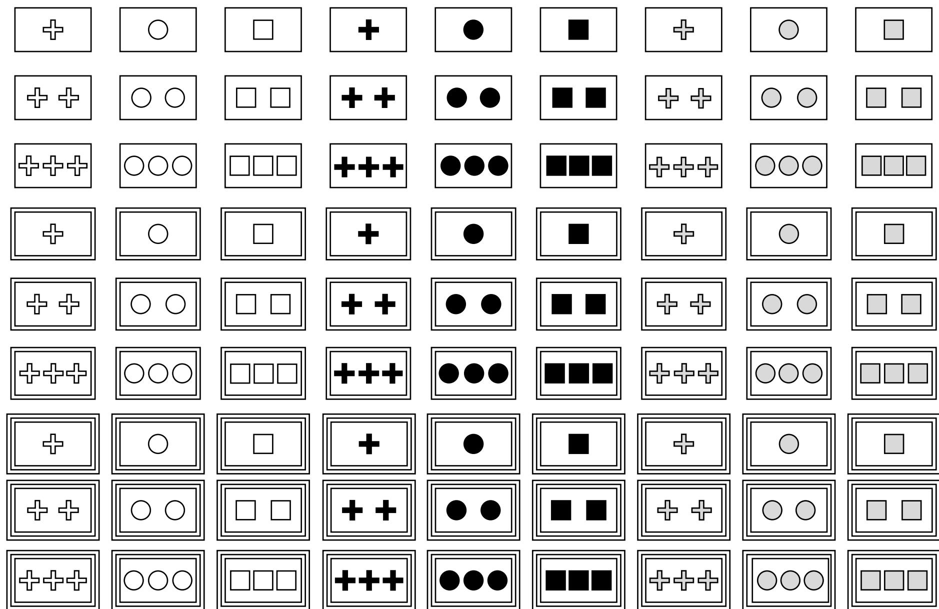


**FIGURA 10-9** «Escoja una carta... descubra una regla»

Ésta es la baraja de 81 cartas, las cuales varían en forma, color y número de objetos representados, así como en cantidad de recuadros, que se utilizó en uno de los primeros estudios sobre cómo realizamos inducciones generales. O bien se les presentaba a los sujetos, o bien seleccionaban ellos mismos, una carta cada vez. Sólo el experimentador sabía cuál era la regla para los casos positivos o negativos. En cada ensayo los sujetos plantearon su hipótesis y tan sólo se les decía si habían acertado o no -pero no cuál era la regla-. Luego pasaban al siguiente ensayo. El objetivo: plantear una hipótesis que se correspondiera con la regla.

(Bruner, J. S., Goodnow, J. J. y Austin, C. A. (1956). Un estudio del razonamiento. New York. NY. Science Editions. Reimpreso con autorización).

se lo comunicaba al sujeto. En vez de ello, el experimentador señalaba una carta que era roja y cuadrada e indicaba al sujeto del estudio que esa carta era un ejemplo de la regla. El sujeto señalaba luego una carta cada vez y el experimentador indicaba en cada caso si la carta era o no un ejemplo de la regla. Al elegir cada carta, el sujeto tenía que proponer una hipótesis como regla general. Los experimentadores variaron las reglas (no dichas) y hallaron que las reglas simples (tales como «rojo») eran muy sencillas de descubrir, las reglas conjuntivas (tales como «rojo y cuadrado») eran un poco más difíciles y las reglas disyuntivas (tales como «o rojo o cuadrado») eran difíciles. Las reglas negativas, tales como «no rojo» eran muy difíciles de descubrir y, por último, las reglas negativas disyuntivas tales como «ni rojo ni cruz», eran las más difíciles de descubrir de todas ellas.

¿Por qué los sujetos encontraron que era más fácil descubrir algunas reglas generales que otras? La contribución de Bruner y sus colaboradores (1956) fue presentar una explicación en términos de las diferentes estrategias de razonamiento inductivo que utilizaban los sujetos. En la *estrategia de exploración sucesiva*, los sujetos escogían cartas que diferían tan sólo en una característica de la carta que había presentado el experimentador («rojo y cuadrado»). Por ejemplo, la carta de referencia podía contener tres cuadrados rojos y un borde; en el primer ensayo el sujeto podía elegir una carta con tres cuadrados rojos y *dos* bordes. Si esa carta cumplía la regla, el sujeto sabía que el número de bordes no venía al caso y que ese atributo se podía descartar; si la carta elegida no cumplía la regla, el sujeto debía continuar buscando combinaciones de los cuatro tributos cada vez que sugería una carta. Otro enfoque, la *estrategia del juego enfocado,* mantiene una única característica y cambia todas las demás. Un sujeto que sabía, por el experimentador, que una carta con tres cuadrados rojos y un borde cumplía la regla, elegiría una carta con tres cuadrados verdes y un borde. Si el experimentador daba esa carta por válida, entonces el sujeto sabía que la regla se basaba en el número de bordes; pero si el experimentador decía que no, el jugador no obtenía ningún conocimiento sobre la regla. Debido a que ambas estrategias implican en primer lugar la comprobación de una única característica, no es de sorprender que los sujetos encontraran más sencillo descubrir las reglas simples (tales como «rojo») que las reglas conjuntivas (tal como «rojo y cuadrado»).

El trabajo de Bruner y sus colaboradores (1956) condujo a dos desarrollos principales en la Psicología cognitiva. El primero estaba relacionado con la naturaleza de las categorías. Mediante el enfoque en las reglas, el trabajo de Bruner condujo a un examen de la formación de las categorías que era de relevancia para las categorías que utilizamos en la vida real (E. E. Smith y Medin, 1981). El trabajo de Bruner también condujo la investigación hacia el modo en el que probamos las hipótesis. Una hipótesis es una idea o proposición que podemos evaluar o comprobar recopilando evidencias que la apoyen o refuten. ¿Cómo puede un sujeto que ha deducido una regla mediante inducción general descubrir si esa regla es no correcta?, ¿qué estrategias se utilizan para comprobar la hipótesis? Estas preguntas llegaron a ser un foco central de la investigación (Tweney *et al*., 1981).

Una tarea bien conocida para investigar los modos en los que comprobamos nuestras hipótesis es la tarea 2-4-6 de Watson, ideada por el psicólogo inglés Peter Watson (1924-2003). La tarea es estructuralmente simple y fácil de administrar: inténtela el lector con sus amigos. El experimentador afirma que la secuencia 2-4-6 es una tríada de números, que coincide con una regla. La meta del sujeto es descubrir la regla generando hipótesis sobre ella, así como generar nuevas tríadas de números para pro-

bar su hipótesis. El experimentador indica al sujeto si cada tríada que éste propone es o no coherente con la regla. El sujeto puede enunciar una regla deducida en cualquier momento y el experimentador le dice si su respuesta es o no correcta. Si lo es, el experimento ha concluido. En caso contrario, se indica al sujeto que genere nuevas tríadas de números. El procedimiento continúa hasta que el sujeto, o bien enuncia la regla correcta o bien se rinde.

Los sujetos comienzan por lo general suponiendo que la regla es «números pares con incrementos de dos unidades» y la mayoría comprueba la hipótesis generando tríadas de números que son consistentes con dicha hipótesis, sugiriendo, por ejemplo, la tríada 8-10-12. Generalmente, los sujetos proponen tres o cuatro tríadas más de ese tipo y se les dice que sus ejemplos son válidos; en ese momento los sujetos enuncian la regla: «números pares con incrementos de dos unidades». En ese momento se les informa que la regla no es correcta. La mayoría de los sujetos inducen entonces una regla más general: «cualquier conjunto de números con incrementos de dos unidades» y sugieren tríadas tales como «1-3-5» o «6-8-10». Pero al enunciar esta nueva regla se les vuelve informar de que están equivocados. En este momento, ocurre algo interesante: muchos sujetos cambian de intentar *confirmar* su hipótesis a intentar *negarla* (p. ej., pasan de generar tríadas consistentes con sus hipótesis a generar tríadas inconsistentes con ella) (Gorman *et al.* 1987). Pueden llegar a proponer la tríada «2-6-4» y si lo hacen, se les dice que esa tríada es inconsistente con la regla. Una vez que los sujetos tienen informaciones negativas con las que trabajar, suelen descubrir que la regla correcta es simplemente «números de magnitud creciente».

En ocasiones los sujetos se resisten a tomar en consideración información que es inconsistente con la regla se han formado. Por ejemplo, si se les dice que existe una probabilidad de error en la respuesta que reciben, entonces atribuirán a un error toda aquella respuesta que sea inconsistente con la regla que han deducido (Gorman, 1989). Más aún, aun cuando se alienta a los sujetos para buscar evidencias de disconformidad cuando realizan la tarea 2-4-6, su rendimiento no mejora significativamente (Tweny *et al.*, 1981).

¿Cuán representativa es la tarea 2-4-6 de situaciones de la vida real en las cuales debemos hacer una inducción general a partir de un conjunto de casos? Los sujetos muestran con frecuencia un **sesgo de confirmación**, la predisposición a dar peso a la información de forma coherente con creencias preexistentes (véase la Figura 10-10), cuando han de descubrir una regla arbitraria (Dunbar, 1993). Pero hay situaciones en las cuales las personas pueden superar sus preferencias. En estudios del razonamiento de científicos se han encontrado pocas evidencias de que estos sujetos intentasen confirmar sus hipótesis mediante la no consideración de otras posibilidades o por ignorar datos inconsistentes (Dunbar, 1997, 1999).

## 3.2. Inducciones específicas

Suponer que si un miembro de una categoría tiene una característica particular, cualquier otro miembro de dicha categoría deberá tenerla, es realizar una inducción específica basada en la categoría. Por supuesto, existe una trampa obvia, la característica involucrada puede no ser común para todos los miembros de la categoría. Sin embargo, la inducción específica basada en la categoría, nos permite con frecuencia hacer deducciones útiles sobre un miembro nuevo o desconocido de una categoría. De esta forma podemos poner al día nuestro conocimiento sin tener que encontrar caso a ca-



**FIGURA 10-10** Bajo la luna llena...

El sesgo de confirmación es un fenómeno casi omnipresente: tendemos, preferentemente, a encontrar evidencias de lo que creemos. Alguien que crea que el índice de criminalidad aumenta con la luna llena, se percatará de las noticias sobre crímenes cometidos en ese momento, pero estará menos atento a historias sobre crímenes en otras ocasiones. ¿El resultado?: «¿Qué te había dicho?, ¡tres robos este fin de semana —y yo sé porqué!—».

so si esta información particular es cierta para todos los miembros de la categoría. Si escuchamos que los cuervos en la zona noroeste de los Estados Unidos han estado muriendo por el virus del Nilo oriental, puede que deduzcamos que los petirrojos morirán por el virus del Nilo oriental; esto será hacer una inducción específica basada en la categoría. (El hecho de partida —en este caso, lo que escuchamos sobre los cuervos— habitualmente se llama la *premisa*, análoga a la premisa de un argumento; la deducción, lo que ocurrirá con los petirrojos, en este caso, es la *conclusión*). ¿Podemos pensar que los flamencos, los faisanes y los patos podrían morir por el virus? Los ornitólogos lo hicieron y eso es exactamente lo que pasó, en agosto de 1999, en el zoológico del Bronx. El virus del Nilo oriental mató a muchas especies de pájaros.

Los psicólogos cognitivos han estado investigando la inducción específica basada en categorías desde la mitad de los años 1970 (véase p. ej., Rips, 1975). Esta investigación ha mostrado que seguimos un número de heurísticas al realizar las inducciones basadas en categorías. En primer lugar, cuanto más similar sea la premisa a la conclusión, mayor es la probabilidad de que la característica mencionada en la premisa se atribuya a la conclusión. En segundo lugar, cuanto más habitual sea la premisa en su categoría más probable es que se considere que la conclusión tiene la característica que interesa. Una tercera consideración heurística fue identificada por los investigadores que encontraron que si la categoría involucrada se considera que es relativamente homogénea (por ejemplo, los gatos), entonces estaremos deseosos de hacer deducciones más fuertes mediante la proyección de la característica (por ejemplo, los rabos) de

un caso de la categoría a los otros casos (aunque en este caso, podemos estar equivocados —los gatos de la isla de Man no tienen rabo—). Si, en cualquier caso, se piensa que la categoría es más heterogénea (por ejemplo, animales), entonces tendremos una menor tendencia a hacer deducciones fuertes en otros casos de la categoría (Nisbett *et al.*, 1983). La variabilidad dentro de la categoría que contiene la premisa y la conclusión puede tener un gran efecto en los enjuiciamientos (ver también Heit, 2000).

Se ha desarrollado un modelo de la inducción basada en la categoría, conocido como el *modelo de cobertura de la similitud* (Osherson *et al.*, 1990). Se aplica a las inducciones generales al igual que a las específicas. Desde su perspectiva, la similitud entre los miembros de las categorías no es suficiente para explicar todos los fenómenos que se observan en las inducciones basadas en las categorías. Más bien, el modelo propone que detrás de los efectos de tipicidad que se observan en el razonamiento inductivo —cuanto más típica sea la premisa, más rápidamente se cartografía esa característica en la conclusión— se encuentra la noción de cobertura. La «cobertura» se define como la similitud máxima *media* entre los casos de la premisa y cada ejemplar de dicha categoría en la conclusión. Para ilustrar lo anterior, veamos los siguientes dos casos:

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Premisa:* | Los perros tienen hígado. | *Premisa:* | Los perros tienen hígado. |
| *Premisa:* | Los gatos tienen hígado. | *Premisa:* | Las ballenas tienen hígado. |
| *Conclusión:* | Los mamíferos tienen hígado. | *Conclusión:* | Los mamíferos tienen hígado. |

¿Qué argumento piensa el lector que es más fuerte? Si somos como la mayoría de los sujetos en los elementos originales, elegiremos el argumento de la derecha. Los investigadores explican el efecto al poner de relieve que aunque el argumento de la izquierda contiene términos («perro» y «gato») que, para la mayoría de los no zoólogos, son miembros más típicos de la categoría «mamífero», el argumento de la derecha contiene términos que, entre los dos, dan mayor cobertura a la categoría —esto es, al menos uno de los ejemplares será relativamente similar a *cualquier* otro caso de la categoría (y es el *máximo* de las dos similitudes lo que determina la inducción).

Está claro que la memoria operativa se relaciona con las inducciones: hemos de mantener en la memoria la información a partir de la cual generalizamos. La inducción también implica las funciones cognitivas necesarias para proponer la regla inducida, tal y como se requieren para cambiar la atención de un ejemplar a otro. Estas observaciones nos conducen a esperar que los lóbulos frontales jueguen un papel dominante en la deducción inductiva —una posibilidad que consideraremos en el apartado siguiente—.

## 3.3. Redes cerebrales fundamentales

Tanto los estudios de pacientes con varios tipos de daño cerebral, como los estudios de neuroimagen de sujetos sin enfermedad neurológica, señalan el importante papel que desempeñan los lóbulos frontales en el razonamiento inductivo. Una prueba habitual en caso de daño del lóbulo frontal, estudiada en el Capítulo 7, es la prueba de Clasificación de Cartas, de Wisconsin (PCCW), una prueba de razonamiento inductivo en la que el objetivo es inducir o concluir una regla. Se les pide a los sujetos que emparejen las cartas de la prueba con cartas de referencia, conforme al color, la forma o el número de elementos de las cartas. Se le informa de su rendimiento (retroali-

mentación) después de cada ensayo, lo que hace posible que el sujeto aprenda (o pueda inducir) el criterio correcto para clasificar las cartas (p. ej., clasificar las cartas según el color). Después de que haya contestado correctamente en unos 10 ensayos, se cambia la regla. A los sujetos normales, sin lesión, no les cuesta darse cuenta de que el criterio ha cambiado. Sin embargo, los pacientes con lesión en el lóbulo frontal, particularmente en caso de lesión en la corteza prefrontal dorsolateral izquierda, tienen grandes dificultades para cambiar de criterio incluso cuando tienen pruebas abrumadoras de que el criterio que continúan usando es incorrecto (Dunbar y Sussman, 1995).

Estos datos han sido corroborados por investigaciones con RMf de sujetos normales, como la publicada por Monchi y sus colaboradores (2001). En su estudio, se les aplicó a los sujetos una versión de ordenador de la PCCW que era similar a la versión tradicional. Se encontró una activación significativa de la región medial de la corteza prefrontal dorsolateral cuando los sujetos recibían retroalimentación positiva y negativa mientras que realizaban la tarea de clasificación de cartas. Los investigadores arguyeron que estas regiones de la corteza prefrontal se habían activado debido a que los sujetos tenían que atender selectivamente a un atributo específico y comparar la retroalimentación que recibían en el momento con la de ensayos anteriores, mantenida en la memoria operativa. Estos datos coinciden con la idea de que generalizar la inducción, al menos en lo que respecta a la que se usa en la prueba de clasificación de cartas de Wisconsin, implica la supervisión activa de acontecimientos en la memoria operativa. Los investigadores hallaron además que una combinación de redes corticales y subcorticales de diferentes regiones, incluyendo la corteza prefrontal ventrolateral, el núcleo caudado y el tálamo, se activaba cuando los sujetos recibían sólo retroalimentación negativa. Se ha comprobado que dichas regiones intervienen en una serie de tareas que requieren la actualización y modificación de la conducta basándose en la retroalimentación negativa.

Diversos estudios realizados con técnicas de TEP y RMf han estudiado el sustrato neural de la inducción basada en categorías. En uno de ellos, se les pedía a los sujetos que juzgaran la probabilidad de una conclusión a partir de un conjunto de premisas, de forma similar a otros estudios descritos anteriormente en este libro (Parsons y Osherson, 2001). Los investigadores encontraron signos de activación en partes del hemisferio izquierdo, comprendiendo regiones temporales mediales y parahipocámpicas, y en amplias zonas de los lóbulos frontales. Estos datos amplían las observaciones realizadas en estudios con pacientes, indicando que los lóbulos frontales forman parte de una red ampliamente distribuida de regiones cerebrales que, en conjunto, sustentan la deducción inductiva. Como se discutió en el Capítulo 5, hay un consenso general acerca de la participación de los lóbulos temporales mediales en la memoria, tanto en el proceso de almacenamiento como en el de recuperación. Dada esta información, podemos entonces prever cómo la inducción basada en categorías requiere que se recupere activamente la información pertinente de la memoria a largo plazo y que se mantenga dicha información en la memoria operativa. Estos procesos demandan recursos mediados por los lóbulos frontal y temporal.

Otra cuestión se centra en la influencia de la experiencia: una característica clave de la deducción inductiva es que el proceso cognitivo subyacente puede cambiar con la experiencia. En la tarea 2-4-6, los sujetos al principio no saben cual es la regla. A medida que trabajan en la tarea, proponiendo tríadas de números y reglas y recibiendo retroalimentación, empiezan a elaborar hipótesis especificas y algunos sujetos aprenden la regla. ¿Cómo cambia el cerebro durante ese tipo de aprendizaje?

Para responder esta pregunta, los investigadores han presentado una tarea sencilla a sujetos normales: se les pidió que clasificaran dibujos abstractos en dos grupos conforme a sus dos prototipos, que no habían visto pero que estaban estrechamente relacionados (Seger *et al.*, 2000). (Como se expuso en el Capítulo 4, el prototipo es el miembro «central» de una categoría). Los investigadores observaron que, durante los primeros ensayos, la activación cerebral se limitaba a las regiones frontales y parietales del hemisferio derecho. Según progresaba el aprendizaje, se empezaba a ver activación en regiones del hemisferio izquierdo, específicamente en el lóbulo parietal izquierdo y la corteza prefrontal dorsolateral izquierda (véase la Figura 10-11 del inserto a color N). ¿Qué sugiere esto? Parece ser que cuando los sujetos comienzan a clasificar los dibujos, lo hacen procesando los modelos visuales del estímulo. Sin embargo, cuando avanza el aprendizaje, probablemente empiezan a formular una regla abstracta. En términos generales, se piensa que el razonar a partir de reglas abstractas es una especialidad del hemisferio izquierdo. Al igual que la investigación neurocientífica discutida en el apartado sobre razonamiento analógico, éste es un buen ejemplo de cómo el uso de tecnologías de neuroimagen puede enriquecer nuestro conocimiento de la cognición compleja.

Valiéndose de técnicas de neuroimagen, los investigadores han podido recientemente sondear más profundamente los mecanismos subyacentes relacionados con la comprobación de las hipótesis científicas. Por ejemplo, Fungelsang y Dunbar (2005) llevaron a cabo un experimento de RMf que examinaba los mecanismos mediante los cuales integramos los datos cuando estamos comprobando hipótesis específicas. Se pidió a los sujetos que probasen hipótesis específicas relativas al efecto de varias drogas diseñadas para influir en el estado de ánimo. Las hipótesis podían ser tanto verosímiles como inverosímiles. Por ejemplo, la hipótesis verosímil contenía descripciones de drogas que se sabe afectan al estado de ánimo, por ejemplo, los antidepresivos; mientras que las hipótesis inverosímiles contenían descripciones de drogas que se sabe tienen poco o ningún efecto en el estado de ánimo, por ejemplo, los antibióticos. Posteriormente se proporcionaron a los sujetos datos concernientes a dichas hipótesis, en un formato de «ensayo a ensayo», en el cual vieron múltiples ensayos de evidencia para cada tipo de droga. Esta evidencia podía coincidir o no con la hipótesis que se estaba comprobando. Los investigadores hallaron que cuando los sujetos estaban examinando los datos de interés para una hipótesis verosímil, se activaban preferentemente regiones del núcleo caudado y de la circunvolución parahipocámpica. Por lo contrario, cuando los sujetos estaban examinando datos relacionados con una hipótesis inverosímil, se activaban selectivamente regiones de la corteza cingulada anterior, el *precuneus* y la corteza prefrontal izquierda.

¿Qué nos dicen estas activaciones de diferentes redes neurales cerebrales sobre la comprobación de hipótesis? Consideremos primero la activación del caudado y de la circunvolución parahipocámpica, observada en el caso de hipótesis verosímiles. Se piensa que estas regiones del cerebro intervienen en el aprendizaje, la memoria a largo plazo y el proceso de integración de la información. Teniendo esto en cuenta, dichos datos sugieren que podemos estar más inclinados a aprender e integrar nueva información si está en consonancia con una hipótesis verosímil. La corteza cingulada anterior, una de las regiones activadas cuando los sujetos estaban examinando datos relacionados con una hipótesis inverosímil, se ha visto implicada en gran medida en la detección de errores y conflicto (tal como se vio en el Capítulo 7). ¿Tratan los sujetos a los datos concernientes a una hipótesis inverosímil como si fueran errores? ¡Esto es

lo que sugieren tales datos! Considerados en conjunto, los hallazgos de Fungelsang y Dunbar (2005) sugieren que durante el razonamiento inductivo, el cerebro humano puede estar afinado específicamente para reclutar mecanismos de aprendizaje cuando evalúa datos que son coherentes con hipótesis preexistentes y para reclutar mecanismos de detección de errores cuando evalúa datos que no son coherentes con hipótesis.

Este es un ejemplo de cómo el empleo de tecnología de neuroimagen puede sugerir nuevas hipótesis acerca de procesos cognitivos involucrados en el razonamiento. Al entender las redes neurales cerebrales subyacentes implicadas en varias tareas complejas, podemos comenzar a entender cómo interactúan los subcomponentes del razonamiento inductivo (por ejemplo, la atención, el procesamiento de errores, la supervisión de conflictos y la memoria operativa).



*Control de comprensión*



1. ¿Cuál es la diferencia entre la inducción general y la basada en categorías específicas?
2. ¿Qué papeles se ha propuesto que desempeñan la corteza frontal y los lóbulos temporales en la inducción basada en categorías?

## 4 Razonamiento deductivo

Hemos decidido mudarnos y pronto no podremos ir andando al campus. Así pues, hemos de comprar un coche nuevo. Afortunadamente para nosotros, el dinero no es óbice —pero sí la velocidad—. Vamos al distribuidor de Porsche más cercano. Vemos que Porsche ha presentado un nuevo modelo llamado Boxster. Basándonos en nuestro conocimiento de los automóviles, hemos llegado a la conclusión de que todos los Porsche son automóviles fiables. Dado que el Boxster es un Porsche, esperamos que el nuevo Boxster sea un coche fiable. Así que cogemos el nuevo Porsche Boxster para una prueba y tenemos una avería a los 10 minutos de circular con él. La única conclusión lógica que podemos hacer es que una de nuestras premisas debe ser falsa: o bien es falsa la premisa 1 —«todos los Porsche son fiables»— (lo que posiblemente sea el caso), o bien lo es la premisa 2 —«El Boxster es un Porsche»— (lo que es bastante improbable). Acabamos de hacer un buen ejercicio de razonamiento deductivo. En un razonamiento deductivo (al contrario que en uno inductivo), si las premisas son ciertas, la conclusión *no puede* ser falsa.

Muchos teóricos, de Aristóteles en adelante, han creído que el razonamiento deductivo representa uno de los logros más altos del pensamiento racional. Las tareas de razonamiento deductivo son, por lo tanto, una de las herramientas fundamentales utilizadas por los psicólogos cognitivos en la búsqueda para entender la racionalidad humana.

Una herramienta que se utiliza para estudiar el razonamiento deductivo es el **silogismo**, como un argumento que consiste en dos afirmaciones y una conclusión. La conclusión puede ser tanto cierta como falsa. Una conclusión que se sigue de premisas dadas por las leyes de la lógica deductiva es una conclusión *válida*. Nuestra conclu-

sión de que el *Boxster* es un vehículo fiable era válida; sin embargo, resultó no ser cierta, debido a que una u otra de nuestras premisas era falsa. En los estudios sobre el razonamiento deductivo, se dan a un sujeto dos premisas y la conclusión, y se le pide que diga si la conclusión se sigue necesariamente —en otras palabras, si es válida. La idea básica del razonamiento deductivo es que una conclusión válida se sigue de las premisas como una cuestión de necesidad lógica (lo que no es el caso en el razonamiento inductivo, donde las conclusiones no son *necesariamente* ciertas)—.

## 4.1. Silogismos categóricos

Las relaciones entre dos categorías de objetos se pueden describir como un **silogismo categórico**. Formulado formalmente, su razonamiento en el distribuidor de Porsche aparecería del siguiente modo:

*Premisa 1*: Todos los Porsche son fiables.
Premisa 2: El Boxster es un Porsche.

---

*Conclusión:* El Boxster es fiable.

En el lenguaje de la lógica, la premisa 1 es la premisa mayor, la premisa 2 es la premisa menor. El silogismo categórico se puede generalizar:

*Premisa 1:* Todos los A son B.
*Premisa 2:* C es un A.

---

*Conclusión:* C es B.

La relación entre los términos en un silogismo categórico se puede describir mediante cuatro tipos de afirmación:

*Afirmación Universal (AU):* Todos los A son B.

*Negación Universal (NU):* Ningún A es B.

*Afirmación Particular (AP)*: Algún A es B.

*Negación Particular (NP)*: Algún A no es B.

Estas relaciones entre los dos términos se representan con frecuencia como diagramas de Venn, así llamados por el lógico y matemático inglés John Venn (1834-1923). Estos diagramas son representaciones gráficas, mediante círculos solapados, de las relaciones entre dos o más elementos. Los elementos se representan como círculos y las relaciones categóricas entre ellos se muestran por el grado de solapamiento. La Figura 10-12 muestra los cuatro tipos de silogismos como diagramas de Venn.

Repárese en que existen cuatro formas posibles de representar la afirmación universal: «Todos los A son B». A puede representar un subconjunto de B: la afirmación de que todas las gominolas son rojas, no implica necesariamente que no existan otras cosas en universo que sean rojas. De forma alternativa, A y B pueden ser equivalentes, en cuyo caso cualquier cosa que sea roja es una gominola. De forma similar existen múltiples modos de representar una afirmación particular y una negación particular. Se pueden construir un total de 512 silogismos con todas las posibles combinaciones de los cuantificadores «todos», «algunos» y «ninguno», dos premisas y una conclusión. De estos 512 posibles silogismos, se ha encontrado que sólo 27 son válidos (Johnson-Laird y Steedman, 1978).

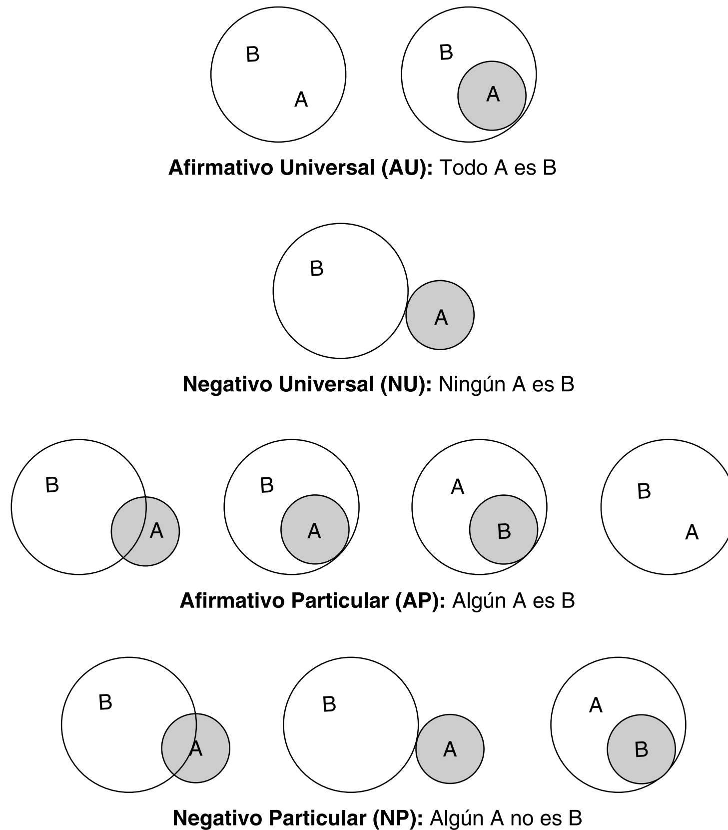



**FIGURA 10-12** Diagramas de Venn

Las posibles relaciones categóricas entre las variables A y B se representan aquí como diagramas de Venn. La negación universal tiene una única representación, pero adviértase que los otros asertos se pueden expresar de más de una manera. Viendo las diversas posibilidades, queda claro por qué es mucho más difícil razonar con premisas que contienen afirmaciones particulares que con las que contienen afirmaciones universales.

## 4.2. Silogismos condicionales

El hecho de que ocurra un acontecimiento puede estar condicionado por que ocurra otro: esta relación entre acontecimientos se puede describir como un **silogismo condicional**. Al igual que los silogismos categóricos, los silogismos condicionales consisten en dos premisas y una conclusión. La primera premisa de un silogismo condicional es una afirmación de la forma «si P, entonces Q», donde P es una condición antecedente y Q es una condición consecuente. La segunda premisa puede tener una de las siguientes cuatro formas:

*Afirmación del Antecedente (AA):* P es cierto.
*Negación del Antecedente (NA):* P no es cierto.
*Afirmación del Consecuente (AC):* Q es cierto.
*Negación del Consecuente (NC):* Q no es cierto.

El razonamiento sobre la compra del coche se puede poner de la siguiente manera en forma de silogismo condicional:

*Premisa 1:* Si el coche es un Porsche, entonces es fiable.
*Premisa 2:* El Boxster es un Porsche.

---

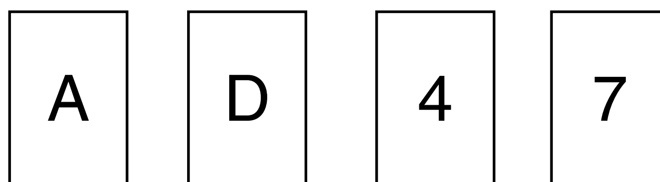
*Conclusión:* El Boxster es fiable.

La premisa 1 es de la forma «si P, entonces Q», «Porsche» es el antecedente y «es fiable» es el consecuente; la premisa 2, en este caso, afirma el antecedente, por lo tanto, la conclusión «es fiable» se sigue lógicamente.

Una de las tareas utilizadas más comúnmente para el estudio del razonamiento condicional es la tarea de selección de Wason, una tarea decepcionantemente simple en la cual menos del 10% de los sujetos dan respuestas correctamente lógicas. Un problema ejemplo de la tarea se muestra en la Figura 10-13. Se muestran cuatro cartas al sujeto en las que figuran las letras A y D y los números 4 y 7. También se da la siguiente regla: «si la carta tiene una vocal en una cara, entonces tiene un número par en la otra cara». La tarea consiste en determinar si la regla es cierta o falsa volteando el menor número posible de cartas. Bien, intentémoslo: ¿qué cartas piensa el lector que necesitará voltear para determinar si la regla es cierta o falsa? Pensemos en ello. Podemos voltear la carta A para ver si hay un número par en la otra cara; si en ésta hay un número impar, la regla es falsa. Pero si lo encontramos un número par, el hecho está de acuerdo con la regla —hasta el momento—.

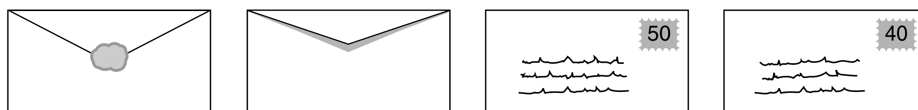
¿Hemos acabado? Bien, se puede voltear la carta con el 4 para ver si hay una vocal en la otra cara —y si elegimos esta opción actuaremos como el 46% de los sujetos en el experimento original de Wason, si encontramos en ello algún consuelo—. ¿Porque a dónde nos conduce esto? La regla que se nos dio no hace referencia a lo que se puede esperar en el reverso de una carta que muestre un número par *—no importa lo que hay en el reverso*, así que hemos perdido un movimiento—. De forma similar, voltear la carta con la D no proporciona información útil dado que la regla no proporciona información sobre cual es el reverso de las cartas marcadas con consonantes. La deducción correcta es elegir las cartas marcadas con la A y con el 7.

La regla: Si la carta tiene una vocal en una cara, entonces tiene un número par en la otra cara




(a)

La regla: Si la carta está sellada, entonces tiene un sello de 50 céntimos




(b)

**FIGURA 10-13** La tarea de selección de Wason

(a) Una versión abstracta y (b) una más próxima a las experiencias reales. El problema es el mismo en ambas: ¿Cuál es el número mínimo de cartas (o de sobres) que se han de voltear para establecer si una regla es cierta o no?, ¿cuáles voltearíamos? Intentemos hacer las dos versiones de la tarea, ¿cuál es la más fácil?

¿Por qué el 7? Debido a que al voltear la carta con el 7 nos permite comprobar la negación de la afirmación «si -entonces» que figuraba en la regla: si en el reverso de la carta con el 7 hay una vocal, entonces y sólo entonces podemos saber si la regla es cierta o falsa—.

El hecho de que habitualmente menos del 10% de los sujetos realicen de forma lógica la tarea de la selección de Wason dibuja un cuadro relativamente negro de nuestra habilidad para razonar de forma lógica. La versión de la tarea de Wason que hemos presentado aquí, sin embargo, es muy abstracta: pedir a alguien que tome decisiones sobre cartas con números pares y con vocales no nos lleva a ningún conocimiento pertinente del mundo real. Cuando se presentan versiones de la tarea con escenarios y combinaciones del «mundo real» («si te presto mi coche, tendrás que llenar el tanque de gasolina»), el rendimiento mejora de forma considerable (véase la segunda fila de la Figura 10-13).

## 4.3. Errores en el pensamiento deductivo

Razonar de forma deductiva no es siempre una cuestión simple. De hecho, muchos de nosotros hacemos juicios erróneos cuando razonamos tanto categóricamente como condicionadamente. El tipo de errores que cometemos han suministrado gran cantidad de información a los investigadores interesados en el desarrollo de teorías sobre el razonamiento deductivo.

Cometemos dos tipos principales de errores cuando razonamos de forma deductiva: *errores de forma* y *errores de contenido*. Los **errores de forma** resultan de errores en la forma estructural o formato de la relación entre la premisa y la conclusión. Los **errores de contenido** resultan cuando el contenido del silogismo es demasiado influyente.

### 4.3.1. Errores de forma

Un error de forma común en el razonamiento categórico es aceptar una conclusión como válida si contiene el mismo cuantificador —«alguno», «todo», o «no»— que aparece en las premisas. Este error se llama el **efecto de ambiente**: el uso de estos términos en las dos premisas conlleva un estado de ánimo general, o ambiente, que conduce a los sujetos a aceptar una conclusión que contenga el mismo término (Woodworth y Sells, 1935). Por ejemplo, es fácil ver que la conclusión «todas las A son C» se sigue necesariamente de las siguientes dos premisas «todas las A son B» y «todas las B son C». Consideremos ahora qué ocurre cuando reemplazamos el cuantificador «todo» con los cuantificadores «ninguno» o «alguno».

*Premisa 1:* Ningún A es B.
*Premisa 2:* Ningún B es C

---

*Conclusión:* Ningún A es C

Puede que no sea obvio que esta conclusión no es válida. Reemplacemos las abstracciones A, B y C con términos concretos y veamos cómo queda el silogismo:

*Premisa 1:* Ningún humano es un automóvil.
*Premisa 2:* Ningún automóvil es un doctor.

---

*Conclusión:* Ningún humano es un doctor.

Ahora es obvio que la conclusión no es válida.

Un error de forma relacionado, en esta ocasión en el razonamiento condicional, es el **sesgo de emparejamiento**, esto es, aceptar que una conclusión es válida si contiene la estructura sintáctica de las premisas o alguno de los términos de la premisa. Por ejemplo, en la tarea de selección de Wason (véase la Figura 10-13), este error ocurre cuando las personas voltean erróneamente la carta con el 4 debido a que está relacionado con lo que se afirma en la regla («si una carta tiene una vocal en una cara, entonces tiene un *número par* en la otra cara»). Tanto el efecto de ambiente en los silogismos categóricos como el sesgo de emparejamiento en los silogismos condicionales apuntan al fuerte impacto de la estructura sintáctica. En ambos casos, estamos fuertemente influenciados por los cuantificadores que se utilizan en las premisas. ¿A qué se puede deber esto?

Una posibilidad es que ciertos objetos en las afirmaciones categóricas y condicionales —tales como los cuantificadores formales— capten nuestra atención. Se ha argumentado que, simplemente, esperamos que la información que recibimos sea adecuada (Evans, 1989) y por lo tanto esperamos que el cuantificador sea crítico. Así, la preferencia de atender a las palabras del cuantificador en las premisas, y aceptarlas en las conclusiones, surge debido al hecho de que la mayoría de las veces la información sobresaliente que damos *es* adecuada. Otra razón por la que podemos tener dificultades en el razonamiento con afirmaciones categóricas y condicionales más complejas tiene que ver con la naturaleza problemática de los cuantificadores negativos. No siempre convertimos de forma espontánea las afirmaciones negativas («un número no par») a afirmaciones positivas («un número impar»). Finalmente, las limitaciones de la memoria operativa pueden estar en la raíz de muchos de los errores que cometemos en el razonamiento deductivo, y en verdad, todas las teorías contemporáneas sobre el razonamiento deductivo reconocen el papel significativo que la memoria operativa juega en dicho tipo de razonamiento.

### 4.3.2. Errores de contenido

Las deducciones lógicas deberían ser influenciadas tan sólo por la estructura de las premisas: las leyes de la lógica son abstractas y son independientes del contenido del silogismo. Pero los seres humanos estamos inmersos en un mundo en el cual el contenido —la información que se conduce— es importante con frecuencia. Un error común de contenido es centrarse en la certeza o falsedad de las afirmaciones individuales del silogismo (mientras se ignora la conexión lógica entre las afirmaciones). Este error fue demostrado en un estudio en el cual se presentaba a los sujetos un número de silogismos inválidos cuyas conclusiones contenían, a veces, afirmaciones ciertas (Markovits y Nantel, 1989). Consideremos los dos siguientes ejemplos:

*Premisa 1:* Todo lo que tiene un motor (A) necesita aceite (B).
*Premisa 2:* Los automóviles (C) necesitan aceite (B).

---

*Conclusión:* Los automóviles (C) tienen motores (A).

y

*Premisa 1:* Todo lo que tiene un motor (A) necesita aceite (B).
*Premisa 2:* Lo oprobio (C) necesita aceite (B).

---

*Conclusión:* Lo oprobio (C) tiene un motor (A).

¿Es válida cualquiera de estas dos conclusiones? ¿Cual de ellas? La mayoría de los sujetos dicen que el primer ejemplo es válido; de hecho las dos son inválidas. Las dos primeras premisas no especifican una relación entre C y A, que es lo que establece la conclusión. Sin embargo, los sujetos aceptan dos veces más la primera conclusión como válida antes que la segunda. Al parecer, somos más propensos a aceptar como válida lógicamente una conclusión si las premisas y la conclusión son afirmaciones ciertas.

El efecto de **preferencia basada en la creencia** —la tendencia a ser más propenso a aceptar una conclusión «creíble» en un silogismo que una conclusión «increíble»— es posiblemente el efecto predominante de contenido más estudiado en el razonamiento deductivo (para una revisión, véase Klauer *et al.*, 2000).

Consideremos lo siguiente:

*Premisa 1:* Ningún cigarrillo (A) es barato (B).
*Premisa 2:* Algunos productos adictivos (C) son baratos (B).

---

*Conclusión:* Algunos productos adictivos (C) no son cigarrillos (A).

Cerca del 90% de los sujetos en los que se presentó este silogismo juzgaron que la conclusión era válida. La conclusión es lógica (se sigue necesariamente de las premisas) y creíble (hay muchas cosas adictivas que no son cigarrillos). ¿Qué ocurre cuando reordenamos el contenido del silogismo?

*Premisa 1:* Los productos no adictivos (A) son baratos (B).
*Premisa 2:* Algunos cigarrillos (C) son baratos (B).

---

*Conclusión:* Algunos cigarrillos (C) no son adictivos (A).

Sólo el 50% de los sujetos reconocen esta conclusión como válida. Pero por supuesto que lo es: la conclusión sigue lógicamente a las premisas. La conclusión, sin embargo, no es creíble. El contenido increíble del problema influencia la habilidad de muchos sujetos para hacer una reducción válida lógicamente.

En muchas investigaciones se ha encontrado que tanto la validez lógica como las creencias influencian nuestros enjuiciamientos sobre la validez de modo interactivo. Presentando a los sujetos pasajes de prosa que contenían silogismos categóricos, los cuales variaban en cuanto a su validez y credibilidad (Evans *et al.*, 1983), hallaron que los efectos de la lógica eran mayores en el caso de conclusiones increíbles que en el de conclusiones creíbles —esto es, era más probable que los sujetos ignorasen la estructura lógica del silogismo si las conclusiones eran creíbles (véase *Una visión más detenida*)—. Esta interacción entre la estructura lógica y el contenido es uno de los fenómenos más comprobados en el razonamiento deductivo, luego las teorías contemporáneas sobre el razonamiento deductivo suelen considerarlo atentamente.

## 4.4. Teorías sobre el razonamiento deductivo

Existen varias explicaciones teóricas importantes del razonamiento deductivo. Una clase prominente de teorías sobre el razonamiento deductivo propone que la deducción depende de reglas formales semejantes a las del cálculo matemático lógico (Braine y O'Brian, 1991; Rips, 1994). Esas teorías proponen que los humanos poseen de forma natural un sistema lógico que nos posibilita hacer deducciones. Bajo este enfoque, evaluamos los silogismos deductivos mediante la construcción y verificación de

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

### Lógica y creencias

Un influyente estudio realizado por Jonathan Evans, J. L. Barston y P. Pollard examinó la relación entre los procesos lógicos, las creencias y expectativas; los resultados se publicaron en 1883 en un documento llamado: «On the Conflict between Logic and Belief in Syllogistic Reasoning» publicado en *Memory and Cognition, 11*, 295-306.

**Introducción**

Los investigadores estaban interesados en examinar cómo las propias creencias y expectativas influencian la adhesión a las reglas de la lógica. ¿Razonamos «racionalmente» ignorando el contenido de un problema dado y enfocándonos solamente en la estructura lógica de los argumentos?

**Método**

En el experimento, se presentó a 24 sujetos un conjunto de pasajes de texto de 80 palabras que contenían silogismos categóricos que eran (1) válidos lógicamente y tenían una conclusión creíble, (2) válidos lógicamente, pero con una conclusión increíble, (3) inválidos lógicamente y con una conclusión creíble y (4) inválidos lógicamente y con una conclusión increíble. La estructura lógica de los argumentos válidos tenía la siguiente forma:

*Premisa 1:* Ningún A es B.
*Premisa 2:* Algún C es B.

*Conclusión:* Algún C no es A.

Los argumentos inválidos eran del tipo:

*Premisa 1:* Ningún A es B.
*Premisa 2:* Algún C es B.

*Conclusión:* Algún A no es C.

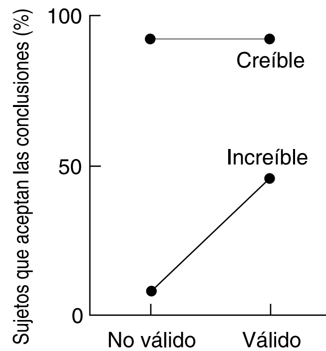
El contenido de los argumentos tenía tanto conclusiones creíbles (por ejemplo, «Algunas personas religiosas no son sacerdotes») como conclusiones increíbles («Algunos buceadores de profundidad no son buenos nadadores»). Cada sujeto evaluó cuatro pasajes, uno para cada condición de credibilidad y validez.

**Resultados**

Los datos figuran en el gráfico adjunto. En primer lugar, como es evidente, la aceptación de una conclusión como válida estuvo afectada por la validez lógica del silogismo categórico: cuando una conclusión era necesariamente lógica, la proporción de sujetos que la aceptaba como válida aumentaba. Es importante notar, sin embargo, la interacción entre la validez lógica y las creencias: los efectos de la lógica fueron mayores para las conclusiones increíbles (46% contra 8%) que para las conclusiones creíbles (92% contra 92%); de hecho, los sujetos en este experimento aparentaban ignorar completamente la estructura lógica de los argumentos cuando consideraban creíble la conclusión.

**Discusión**

El hallazgo de que las creencias influencian fuertemente el razonamiento deductivo pone a prueba a los enfoques tradicionales que argumentan que los humanos razonan estrictamente en base a las reglas «sin contenidos» de la lógica.




Cuando los sujetos aceptaban una conclusión como válida no parecían afectados por la validez de la conclusión si la consideraban creíble.
(Evans, J. St. B. T. Barston, J. L. and Pollard, P (1983). On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory and Cognition, 11,* 295-306).

una «prueba mental» en la memoria operativa. En otras palabras, intentamos resolver los problemas del razonamiento deductivo mediante la generación de frases que ligan las premisas con las conclusiones y la posterior determinación de si la conclusión se sigue necesariamente de las premisas. Esto es, evaluamos la validez de la premisa y de la conclusión mediante la vinculación de sus representaciones en la memoria operativa con las reglas lógicas que poseemos por naturaleza. Las aproximaciones basadas en las reglas responden muy bien a ciertos efectos de la forma lógica en el razonamiento. Por ejemplo, el tiempo que se necesita para resolver problemas condicionales y categóricos con el razonamiento deductivo aumenta con el número de pasos deductivos que se necesitan y aumenta, también, cuando se precisan reglas más complejas para resolver el problema.

Los enfoques basados en reglas reconocen también los efectos del contenido en el razonamiento deductivo. ¿Cómo pueden influir las expectativas o el conocimiento en la aplicación de reglas lógicas interiorizadas? Una posibilidad es que el razonamiento que ignora la reglas lógicas pueda tener lugar debido a limitaciones en la memoria operativa (Rips, 1994). Como se señaló anteriormente, usamos habitualmente la heurística para resolver problemas, y en el razonamiento deductivo, para bien o para mal, nos valemos de la heurística como ayuda para hacer deducciones lógicas que significan demasiada carga para la memoria operativa. Uno de esos procesos heurísticos —desarrollados porque hemos experimentado argumentos con ejemplos creíbles válidos en el pasado— puede conducir al efecto del sesgo de creencia: que es más probable que sean válidas las conclusiones creíbles que las increíbles (Rips, 1994).

Otro punto de vista es la teoría *de los modelos mentales* (Johnson- Laird, 1983; Johnson-Laird y Byrne, 1991). Los modelos mentales son representaciones internas de situaciones reales o imaginarias que se pueden derivar de informaciones tales como los silogismos. Desde este punto de vista, el razonamiento deductivo ocurre en tres etapas. En primer lugar se construye el modelo mental que mejor representa la información contenida en las premisas. Esto requiere la comprensión de los términos en las premisas y la de las relaciones entre ellas. Por ejemplo, sabiendo que «todas las A son B» y «todas las B son C» se puede construir un modelo en el cual tres objetos mentales se etiquetan como «C», dos de ellos se etiquetan también como «B» y uno

DEBATE

## Errores y evolución

¿Por qué cometemos errores en el razonamiento deductivo? La mayoría de las teorías sobre el razonamiento deductivo están basadas en la asunción de que los errores en el razonamiento se deben a las limitaciones de los componentes clave del sistema cognitivo, tales como una capacidad limitada de la memoria operativa. Otra teoría, sin embargo, sugiere que son los factores sociales y evolutivos la causa de algunos errores del razonamiento deductivo (Cosmides y Tooby, 1992). Este punto de vista comienza con la idea de que los humanos son sensibles a las reglas del razonamiento social —esto es, la interpretación de situaciones sociales— debido a que nos hemos adaptado, mediante la evolución, para ser sensibles a ciertos aspectos de nuestro ambiente social. En particular, esta teoría afirma que los humanos poseemos un «módulo« cerebral especializado (por ejemplo, un sistema autocontenido) para la detección de aquellos de su especie que trampean en los intercambios sociales (Stone *et al.*, 2002).

Esta adaptación evolutiva hipotética puede explicar el rendimiento en ciertas tareas deductivas. Por ejemplo, los investigadores estudiaron a un paciente, R. M., que tenía una lesión grave en los núcleos basales y el polo temporal, estructuras cerebrales que aportan *input* a la amígdala y que son decisivas para el procesamiento de la información emocional y social (tal como se discutió en el Capítulo 8). Si el polo temporal no funciona adecuadamente, la amígdala está desconectada en gran parte y no puede procesar esta información. R. M. realizó diferentes versiones de la tarea de selección de Wason. Su rendimiento fue normal en las tareas que requerían que determinase si alguien estaba rompiendo una regla de precaución (por ejemplo, «si se implica en la actividad peligrosa X, debe tomar la precaución Y»), pero su rendimiento era deficiente en tareas lógicamente idénticas que precisaban que determinase si alguien estaba haciendo trampas en un contrato social (tal como «si usted recibe un beneficio X, debe cumplir el requisito Y»). Los investigadores argumentan que la única pauta de R. M. para el razonamiento correcto y erróneo podría no ocurrir si el detectar tramposos dependiera tan solo de la aplicación de reglas generales de razonamiento. Esta anomalía selectiva sugería que detectar tramposos sociales requiere un conjunto de circuitos neurales especializados.

La hipótesis evolutiva se enfrenta a ejemplos que sugieren que resolvemos los diferentes problemas de razonamiento deductivo (tales como las reglas cautelares frente a los contratos sociales) aplicando reglas lógicas. En todos estos casos, la detección de los tramposos podría no requerir circuitos privilegiados más allá de lo que lo hacen otros dominios del razonamiento. De nuevo, se necesitan más investigaciones; el jurado aún está deliberando sobre esta cuestión.

de estos últimos también se etiqueta como «A». En la segunda etapa, se genera una conclusión tentativa y se evalúa si puede ser considerada consistente con el modelo que se construyó en la primera etapa. En nuestro modelo de ejemplo, una conclusión tentativa podría ser «todas las A son C». En la tercera etapa, y éste es el aspecto más controvertido de la teoría, se debe validar la conclusión. Esto implica la búsqueda de modelos alternativos que son consistentes con las premisas pero no con la conclusión. (En nuestro ejemplo cualquier modelo alternativo coincide con las premisas y con la conclusión). Si se puede generar un modelo alternativo tal, entonces la conclusión es inválida y se debe generar y evaluar otro modelo diferente, y así sucesivamente. Una conclusión sólo es válida si no existen modelos alternativos disponibles que la conviertan en falsa.

La teoría de los modelos mentales proporciona una buena explicación para los errores de forma y de contenido en la deducción. Por ejemplo, se ha demostrado que la extensión en la que podemos tener dificultades para evaluar silogismos condicionales y categóricos está directamente relacionada con el número de modelos que se requieren —una cuestión de forma lógica (Johnson-Laird, 1983). La teoría también proporciona una explicación sobre cómo el conocimiento o las expectativas influyen en el razonamiento: la credibilidad de una conclusión, un producto del conocimiento

y de la experiencia, pueden determinar la extensión en la cual se generan y verifican modelos alternativos. Si la conclusión inicial es creíble no buscaremos modelos alternativos y por lo tanto corremos el riesgo de aceptar una conclusión creíble pero inválida.

## 4.5. Lingüística frente a base espacial

Trabajar con pacientes que tienen daños cerebrales y con las neuroimágenes de cerebros sanos ha hecho posible estudiar los soportes neurales del razonamiento deductivo. Esta investigación ha suministrado nuevos conocimientos en cuestiones fundamentales que han dejado perplejos a los psicólogos cognitivos durante décadas. Una de estas cuestiones que ha recibido mucha atención es si el razonamiento deductivo y el inductivo se basan en la lingüística o en el espacio. El modelo lingüístico podría proponer que, debido a que el razonamiento deductivo implica propiedades semejantes al lenguaje para las representaciones, deberíamos ver activación en las estructuras del lenguaje del hemisferio izquierdo al igual que de las regiones temporales frontales y posteriores (véase el Capítulo 12). Por otra parte, un modelo espacial de razonamiento deductivo podría sugerir que para razonar creamos representaciones espaciales (por ejemplo, tipos particulares de modelos mentales) de la información lingüística. En este caso, deberíamos esperar que se activaran estructuras perceptivas visuoespaciales, como las de los lóbulos parietales y occipitales, particularmente en el hemisferio derecho.

Hasta la fecha, los resultados de las investigaciones han sido mixtos. Por un lado, los investigadores han proporcionado datos que apoyan los modelos lingüísticos. Por ejemplo, se encontró que los pacientes con daños en el hemisferio izquierdo estaban severamente disminuidos en una tarea de razonamiento deductivo simple, mientras que los pacientes con daños en regiones comparables en el hemisferio derecho estaban tan solo mínimamente disminuidos cuando se les comparaba con sujetos sanos usados como control (Read, 1981). Además, se ha encontrado que pacientes con lesión del hemisferio derecho a veces tienen un mejor rendimiento que pacientes con lesión del hemisferio izquierdo y que los sujetos de referencia (Golding, 1981). Estos estudios con pacientes también han proporcionado cierto apoyo para un modelo lingüístico del razonamiento deductivo. Por añadidura, en un estudio con neuroimagen en pacientes sanos se encontró una activación significativa en caso de razonamientos deductivos en la circunvolución frontal inferior izquierda (así como en la circunvolución occipital superior izquierda) (Goel *et al.*, 1998). Estos hallazgos también apoyan la hipótesis de que el razonamiento deductivo está mediado lingüísticamente. Sin embargo, por otra parte, hay investigaciones en las que se ha encontrado una activación significativa en la corteza temporal medial *derecha* y en la circunvolución frontal inferior derecha al realizar una tarea similar de razonamiento deductivo (Parsons y Osherson, 2001). Estos hallazgos son más coherentes con los modelos espaciales. ¿Por qué la diferencia?

Para comenzar por el principio: estos estudios de neuroimagen difieren tanto en los tipos de silogismos que se utilizaron como en su contenido. En el estudio de Goel y sus colaboradores (1998), que mostraba activación en el hemisferio izquierdo y que por lo tanto se supuso un modelo lingüístico, los silogismos categóricos se tomaron de un contexto militar, y se empleaban términos que no eran necesariamente familiares para los sujetos (por ejemplo, *oficiales, generales y soldados*). El estudio de Parsons y Osherson (2001), que mostraba activación en el hemisferio derecho y que, por

lo tanto, daba apoyo a un modelo espacial, proporcionaba a los sujetos argumentos condicionales que contenían material que resultaba más familiar de un modo general (por ejemplo, *doctores, bomberos, maestros*). ¿Podrían estas diferencias de materiales resultar en pautas diferentes de activación mental? La respuesta es que sí: se ha sugerido que el razonamiento deductivo con materiales que resultan muy familiares utiliza relativamente menor cantidad de tejido neural del hemisferio derecho mientras que el razonamiento deductivo libre de contenidos emplea tejido neural predominantemente en el hemisferio izquierdo (Wharton y Grafman, 1996). Este hecho, por sí mismo, puede explicar algunas de las discrepancias. Pero el examen del razonamiento mediante neuroimágenes está aún en su infancia y resta mucha investigación por realizar.



## Control de comprensión



1. ¿Cuáles son las diferencias entre los errores de forma y los errores de contenido en el razonamiento deductivo?
2. ¿Cuáles son las semejanzas y las diferencias entre las teorías basadas en reglas y los modelos mentales del razonamiento deductivo?

# Repaso y reflexión

1. *¿Cuál es la naturaleza de la resolución de problemas?*

   La resolución de problemas es un proceso de superar obstáculos para conseguir una meta particular. Para hacer esto, debemos identificar cuál es el problema y elegir una línea de acción que haga posible que se alcance la meta. En su nivel más básico se puede pensar de un problema tiene tres partes. La primera es la etapa del objetivo: allí es donde queremos estar, en la resolución del problema. La segunda etapa es el estado inicial o de partida: allí es donde nos encontramos al principio, enfrentándonos al problema que se ha de resolver. La tercera etapa es el conjunto de operaciones que aplicamos —es decir, las acciones que podemos tomar— para llegar del estado inicial al estado objetivo. Todo esto suena demasiado directo: sin embargo, algunos problemas (conocidos como problemas mal definidos) son difíciles de definir y representar debido a que no son claras sus operaciones y limitaciones. Por otro lado, los *problemas bien definidos*, que tienen operaciones y limitaciones claras (no importa lo complicadas que sean), son habitualmente fáciles de definir. Se piensa que el estado inicial, el estado del objetivo y las operaciones intermedias ocurren dentro de un espacio del problema bien definido, el cual es el conjunto de estados o de elecciones posibles a los que se enfrenta quien resuelve el problema en cada etapa a medida que avanza desde el estado inicial al estado objetivo.

   **Piense críticamente**

   - ¿Es siempre más fácil completar problemas bien definidos que problemas mal definidos?, ¿por qué sí o por qué no?
   - ¿Se puede caracterizar la resolución de todos los problemas en términos de búsqueda de un espacio de subproblemas?, ¿existen aspectos de la resolución de

problemas que este enfoque no aborde? Por ejemplo, ¿están el estado inicial y el conjunto de operaciones necesariamente especificados por completo desde el principio?

2. *¿Cómo usamos heurísticas o «estrategias mentales» para resolver problemas?*

Una heurística es una regla general que nos puede ofrecer un atajo para resolver un problema. Habitualmente, una heurística puede ayudar a quien razona a alcanzar el estado objetivo más deprisa que un algoritmo, que es un conjunto de procedimientos para resolver un tipo dado de problemas y que siempre produce la respuesta correcta (por ejemplo, los pasos necesarios para resolver una raíz cuadrada o realizar una larga división). Una heurística es una *búsqueda aleatoria*, un proceso de ensayo y error tal como presionar al azar las teclas del teclado del ordenador cuando éste se bloquea. Una persona que tenga que resolver un problema empleando la heurística de *escalada* anticipa el próximo paso y elige el movimiento que se parece más al estado objetivo. Para resolver el problema de la Torre de Hanoi, quien utilice la escalada intentará seleccionar cada movimiento de forma que se parezca lo más posible al estado final en el cual las tres arandelas están en la tercera clavija y en su orden. En el análisis heurístico medios-fin, quien ha de resolver el problema, descompondrá éste en una serie de subproblemas; por ejemplo, completará una cara del cubo de Rubik como primera etapa en la resolución de este rompecabezas.

**Piense críticamente**

- ¿Podríamos imaginar una situación en la cual ciertas heurísticas pueden conducir a extraviarse a quien razona?
- ¿Cómo pueden las heurísticas funcionar mejor para resolver un problema bien definido?, ¿y para un problema mal definido?

3. *¿Cómo utilizamos analogías para resolver nuevos problemas?*

Cuando resolvemos un problema nuevo, intentamos con frecuencia pensar en una resolución a un problema similar —esto es, razonamos mediante analogía—. De forma específica, el *razonamiento analógico* implica la utilización del conocimiento desde un dominio relativamente bien conocido (la fuente) y su aplicación en otro, menos familiar (la meta). En general se piensa que el razonamiento analógico comprende cinco subprocesos: (1) *recuperación* de información pertinente (fuente), (2) *cartografía* de las características de la fuente en la meta u objetivo, (3) *evaluación* de si la analogía es válida o no, (4) *abstracción* de la característica pertinente compartida por la fuente y la meta y (5) *predicción* de la conducta o características de la meta a partir de lo que se conoce sobre la fuente.

**Piense críticamente**

- ¿Podríamos dar un ejemplo de cuándo utilizamos una analogía para resolver un problema nuevo?
- ¿Pueden las analogías en ocasiones conducir a supuestos falsos sobre la naturaleza subyacente de acontecimientos u objetos?

4. *¿Cuál es la diferencia entre el razonamiento inductivo y el deductivo?*

El razonamiento se puede definir libremente como la habilidad para obtener conclusiones de la información disponible. El proceso al que nos adherimos mientras razonamos se puede dividir en dos procesos deductivos principales, el razona-

miento inductivo y el razonamiento deductivo. El razonamiento inductivo implica la utilización de la información conocida para obtener nuevas conclusiones que es probable que sean ciertas. El *razonamiento inductivo* implica frecuentemente categorías, mediante la generalización de los casos conocidos, a la totalidad de los casos o de algunos casos a otros. El *razonamiento deductivo*, por otra parte, implica utilizar la información conocida para sacar conclusiones que *han de* ser ciertas. El razonamiento categórico (el razonamiento sobre las relaciones entre dos categorías de objetos) y el razonamiento condicional (la determinación del grado en el cual la probabilidad de que ocurra un acontecimiento puede estar condicionada por el hecho de que ocurra otro) son formas de razonamiento deductivo.

**Piense críticamente**

- ¿Se nos ocurre alguna situación en concreto que requiriera tanto un razonamiento deductivo como uno inductivo?
- ¿Podríamos imaginar una situación en la cual la lógica deductiva nos lleve a una conclusión válida, pero nuestro conocimiento del mundo nos diga que esta conclusión no es cierta?, ¿cuál es el motivo de esa discrepancia?

5. *¿Cómo influyen nuestros conocimientos y creencias en nuestro razonamiento «lógico»?*

Las evidencias procedentes de la tarea de razonamiento inductivo de Wason 2-4-6, indican que mostramos habitualmente un sesgo de confirmación cuando se nos pide que descubramos una regla. En diversas tareas se ha demostrado que los sujetos, al razonar, emplean la mayoría de sus esfuerzos en intentar confirmar una regla que creían correcta en vez de intentar desaprobar la regla. Muchas investigaciones sobre el razonamiento deductivo han puesto de manifiesto que a menudo nos centramos en la verdad o falsedad de las afirmaciones individuales en los silogismos mientras que ignoramos las conexiones lógicas entre las afirmaciones.

**Piense críticamente**

- El descubrimiento de que nuestras creencias influyen en nuestros procesos de razonamiento lógico, ¿es necesariamente un resultado descorazonador?
- ¿Cómo puede cualquier conjunto de procesos cognitivos —atención, procesos ejecutivos, memoria operativa— contribuir a la interacción entre creencias y procesamiento lógico?

6. *¿Cómo coordina nuestro cerebro la gran cantidad de procesamiento implicado en la resolución de problemas y el razonamiento?*

Muchas de las áreas del cerebro vinculadas con la atención y la memoria están también altamente involucradas en el razonamiento y en la resolución de problemas. Existe una buena razón para esto —el razonamiento y la resolución de problemas son habitualmente tareas altamente demandantes de la atención y la memoria—. Se debe determinar el objetivo del problema actual y mantenerlo activo; se debe atender a las propiedades pertinentes de los estímulos actuales que nos ayudarán a alcanzar ese objetivo y, mientras se mantiene el objetivo actual activo en la memoria operativa, se debe determinar cómo se relacionan las características actuales del estímulo con el objetivo actual y cuáles son las siguientes operaciones a realizar. Dependiendo del resultado de este tercer paso, se puede necesitar modificar nuestro objetivo a corto plazo para poder alcanzar la etapa final

deseada. Este procesamiento implica atención y memoria operativa. Por lo tanto, requiere el funcionamiento de la corteza prefrontal dorsolateral, la corteza parietal y el cíngulo anterior (entre otras áreas). El análisis visual de características preliminar requerido, la identificación del objeto y los análisis de localización del objeto podrían utilizar recursos del lóbulo occipital, temporal y parietal, respectivamente. La interacción entre los análisis de las características actuales del problema y el estado actual de la meta de quien ha de resolver el problema puede reclamar un bucle de retroalimentación entre las estructuras cerebrales relacionadas con la atención y la memoria operativa (en particular, la corteza prefrontal y la corteza cingulada anterior) y las estructuras relacionadas con la percepción del objeto e identificación y localización (en particular, la convergencia de la corteza occipito-temporo-parietal).

**Piense críticamente**

- ¿Qué información proporcionan los estudios de neuroimagen a las teorías sobre la resolución de problemas y el razonamiento?
- Uno de los hallazgos más interesantes sobre el cerebro y la resolución de problemas es que muchas regiones cerebrales involucradas en la atención y la memoria lo están también en el pensamiento y el razonamiento. ¿A qué se debe esto?

# Cognición motora y simulación mental

CAPÍTULO 11

## Objetivos de aprendizaje

Ya ha avanzado la noche. Nos hemos tomado un descanso de un absorbente trabajo de lectura y hemos elegido una historia de detectives...

> Frente a nosotros según huíamos por el camino, escuchamos alarido tras alarido de Sir Henry y el profundo rugir del sabueso. Llegué a tiempo para ver a la bestia saltar sobre su víctima, arrojarla al suelo y morderla en la garganta. Un instante después Holmes había vaciado cinco cartuchos de su revólver en el flanco de la criatura. Con un último aullido de agonía y una violenta dentellada al aire, el sabueso cayó de espaldas, agitando furiosamente las cuatro patas, hasta inmovilizarse por fin sobre un costado. Yo me detuve jadeante, y acerqué mi pistola a la horrible cabeza luminosa, pero ya no servía de nada apretar el gatillo. El gigantesco perro había muerto.

Es Watson quien escucha los gritos horribles. Watson quien está corriendo con Holmes a través del páramo, Watson quien está jadeando —el sabueso de los Baskerville no es una amenaza para nosotros, seguros en nuestra habitación. Pero según llegamos al clímax de la historia, nos damos cuenta de que *nuestro* pulso es galopante y el corazón late con fuerza; respuestas físicas y motoras están siendo provocadas por estímulos imaginarios. ¿Qué es lo que está ocurriendo?

Lo que está ocurriendo es que imaginar las acciones de otras personas, incluso de personajes de ficción, y tomar la perspectiva de esa persona sobre los acontecimientos, emplea los mismos procesos mentales y activa alguna de las mismas redes neurales que serían activadas si se estuviera realmente experimentando la situación que se imagina. En el capítulo anterior discutimos sobre la solución de problemas y el razonamiento del tipo que se basa mayormente en los análisis conceptuales; en este capítulo, veremos otro modelo en el cual ocurre el pensamiento y que se basa en la simulación mental de posibles acciones o acontecimientos. Desde hace tiempo se ha pensado que los niños pequeños se valen de estas simulaciones antes de utilizar un pensamiento conceptual, y así mucha de la investigación pertinente que vamos a considerar en este capítulo se centrará en el desarrollo.

¿Que hubiéramos hecho de haber sido Watson? Para responder esta pregunta deberíamos «ponernos en su lugar», imaginando cómo hubiéramos reaccionado de habernos encontrado en su lugar. Esta forma de pensar se basa en la cognición motora; la **cognición motora** es el procesamiento mental en el cual el sistema motor se sirve de la información almacenada para planificar y producir nuestras propias acciones, al igual que para anticipar, predecir e interpretar las acciones de otros. A lo largo de este capítulo examinaremos y proporcionaremos datos para afirmar que algunos tipos de razonamiento y de resolución de problemas se basan en la cognición motora, la cual frecuentemente utiliza las imágenes mentales para desarrollar «escenarios mentales» que permiten «ver qué habría ocurrido si...». Responderemos específicamente a estas preguntas fundamentales:

1. ¿Cuál es la naturaleza de la cognición motora?
2. ¿Qué es una simulación mental de la acción?
3. ¿Por qué y cómo reproducimos las acciones de otros?
4. ¿Cuál es el papel de la cognición motora en la percepción?

# 1 Naturaleza de la cognición motora

Puede que nunca hayamos pensado mucho sobre cómo planificamos y controlamos nuestros movimientos, pero incluso un momento de reflexión nos hará conscientes de que nuestras acciones habitualmente no son reflejas, disparadas por un estímulo externo (como ocurre cuando retiramos la mano rápidamente de una estufa caliente), sino que más bien son manifestaciones visibles de una serie de procesos mentales. Una idea clave es que estos mismos procesos mentales se pueden utilizar en la cognición, incluso cuando no resulten en un movimiento específico. Para ver cómo los procesos acostumbran a planificar y guiar el movimiento, lo que se puede utilizar también en el razonamiento y la solución de los problemas, debemos comenzar mediante la consideración de la naturaleza del procesamiento motor.

Muchos investigadores contemporáneos consideran que existe una continuidad entre la planificación y la acción. Bajo este enfoque, un **movimiento** se considera que es un desplazamiento voluntario de una parte del cuerpo en un espacio físico, mientras que una **acción** es una serie de movimientos que se deben realizar para alcanzar un objetivo. Ciertamente, las acciones se planifican en referencia a un objetivo específico. Por ejemplo, si estamos sedientos y deseamos tomar un sorbo de café, deberemos buscar la taza, alcanzarla, introducir los dedos en el asa, levantar la taza y acercarla a los labios. La cognición motora abarca todos los procesos mentales involucrados en la planificación, la preparación y la producción de nuestras propias acciones, al igual que los procesos mentales involucrados en la anticipación, predicción e interpretación de las acciones ajenas.

## 1.1. Ciclos de percepción y acción

Una clave para entender la naturaleza de la cognición motora es el concepto del **ciclo de percepción y acción**, que es la transformación de las pautas percibidas en modelos coordinados de movimientos. Por ejemplo, nos damos cuenta casualmente de lo altos que son los peldaños de una escalera y levantamos los pies de acuerdo con ello (Gibson, 1966). Como veremos, incluso este tipo de planificación aparentemente muy simple de los movimientos —figurándonos de forma inconsciente cuándo y cuán alto debemos elevar nuestros pies— se basa en un conjunto sofisticado de procesos neurales. Hablando de forma evolutiva, la percepción existe no sólo para reconocer los acontecimientos y los objetos, sino también (como se vio en el Capítulo 2), para proporcionar guía y retroalimentación a los muchos movimientos que hacen los animales, de modo que en un momento dado se es eficiente y se tiene éxito en la intención. Más aún, no es sólo que la percepción exista parcialmente al servicio de la planificación de los movimientos; nuestros movimientos nos permiten percibir, lo que a su vez nos permite planificar nuestros movimientos subsiguientes. Los animales se mueven de forma que pueden obtener alimento, y se alimentan de forma que pueden moverse; se mueven de forma que puedan percibir, y perciben de forma que se puedan mover. La percepción y la acción están mutuamente entrelazadas y son interdependientes —y la cognición motora descansa en el corazón del cómo interaccionan las dos. Planificamos de forma que podamos alcanzar un objetivo de acción y lo que percibimos nos permite saber si estamos más cerca de conseguir ese objetivo o nos encontramos en el camino equivocado.

¿Cuál es el vínculo entre la percepción y la acción? Las evidencias neurofisiológicas y conductuales sugieren que el vínculo es la representación: que existe una codificación compartida en el cerebro entre la percepción y la acción y que el contenido de las dos, percepciones e **intenciones** —planes mentales diseñados para conseguir un objetivo mediante la acción— depende de procesos neurales que tienen los aspectos perceptivos y motores (véase Haggard, 2005).

## 1.2. Naturaleza del procesamiento motor en el cerebro

Hemos recalcado que la cognición motora se basa en los sistemas utilizados para controlar el movimiento. Un hecho fundamental es que diferentes áreas del cerebro apoyan procesos mentales diferentes. Nos centraremos en tres áreas motoras; las pruebas de que intervienen en el procesamiento de la información proceden en gran parte de los efectos de lesiones experimentales en animales (Passinham, 1993) y de observaciones clínicas en seres humanos con daño cerebral. El área M1 (estudiada en el Capítulo 1) es el área motora de «nivel más bajo»; las neuronas de esta área controlan los movimientos motores finos y envían fibras desde el cerebro a los propios músculos. El Área Premotora (APM) se relaciona con la puesta a punto de programas para secuencias específicas de acciones (y envía señales aferentes a M1); el Área Motora Suplementaria (AMS) se relaciona con la puesta a punto y ejecución de planes de acción. Así pues, suele considerarse que estas áreas forman una jerarquía, con M1 en el nivel más bajo y el AMS en el más alto. Dados nuestros propósitos actuales no nos equivocaríamos demasiado si consideramos las áreas como si procesaran tipos de información de abstracción creciente, desde movimientos específicos (M1) a conjuntos de movimientos especificados con menos precisión (APM) y, posteriormente, a planes globales de acción (AMS). Estas tres áreas se ilustran en la Figura 11-1.

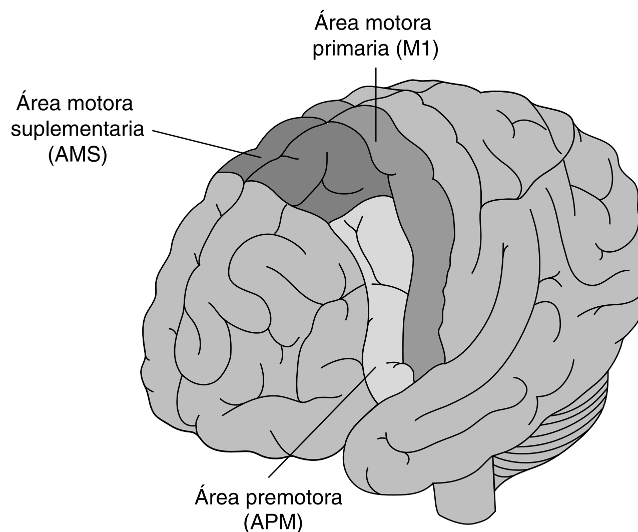



**FIGURA 11-1** Áreas motoras corticales fundamentales

Tres áreas cerebrales que intervienen en el control de la conducta motora y en la cognición motora.
(Figura basada en http://www.brainconnection.com/med/medart/1/motor-cortex.jpg, en la que sólo se representa el área motora primaria (M1), el área premotora (APM) y el área motora suplementaria (AMS).

Hay algunos datos acerca de los distintos papeles de esas tres áreas. Muchos estudios han comparado la actividad neural de M1, APM y AMS durante la preparación de respuestas motoras para investigar la distinción entre el procesamiento de tareas generadas externamente (por ejemplo, moverse para apagar el despertador) y tareas generadas internamente (por ejemplo, poner en hora el despertador). En el último caso, se necesita planificar por adelantado; en el primer caso, no es necesario. Mushiake y sus colaboradores (1991) registraron actividad de una única célula en M1, APM y AMS de monos inmediatamente antes y mientras estaban llevando a cabo tareas motoras secuenciales. La clave del experimento fue que una secuencia de movimientos se provocaba tanto visualmente (PV) como internamente (PI). En la condición PV se requería que los monos tocaran tres almohadillas de un panel según se fueran iluminando en una secuencia aleatoria. En la condición PI se precisaba que los monos recordaran una determinada secuencia y la presionaran en un teclado sin guía visual.

Los resultados mostraron que la mayoría de las neuronas M1 exhibieron una actividad similar durante los períodos de premovimiento y de movimiento, tanto en las condiciones PI como en las condiciones PV. Eso tiene sentido debido a que los mismos movimientos fueron producidos finalmente en las dos condiciones. Sin embargo, en AMS fueron activas más neuronas en la condición de PI que en la condición de PV tanto durante el período del premovimiento como durante el período de movimiento, lo que sugiere que tener que formular un plan implica al AMS. En contraste, en APM estuvieron activas más neuronas durante la condición PV que durante la condición PI durante los dos períodos, lo que sugiere que esta área está relacionada con la preparación de secuencias de movimientos específicos. Estos hallazgos muestran que la producción motora como un todo —premovimiento y movimiento— existe en un determinado número de niveles de procesamiento; más aún, el procesamiento neural varía cuando se formula un plan por anticipado o cuando simplemente se responde a una señal ambiental.

El descubrimiento de que esas tres áreas del cerebro operan sobre información cada vez más específica podría sugerir que las áreas siempre operan de forma estrictamente secuencial; en concreto, se estaría tentado de pensar que el AMS termina su procesamiento y sólo entonces dirige la información a APM, que a su vez termina su procesamiento y sólo entonces dirige la información a M1. Pero, al parecer éste no es el caso. En vez de ello, otras pruebas neurales sugieren que las tres áreas del cerebro no siempre operan según esta secuencia, sino que interactúan de un modo más complejo. Sin embargo, diferentes regiones cerebrales juegan papeles distintos en el proyecto, iniciación y control de la acción. Hemos visto que el AMS participa en la organización de las secuencias motoras que se basan en planes y que el área APM lo hace en la preparación de una acción determinada. Pero eso no es todo: la corteza prefrontal interviene en la iniciación y organización temporal de la acción (según se describió en el Capítulo 7) y el cerebelo interviene en el control temporal de la secuencia de la acción. En todas estas regiones se observa una actividad anticipada respecto a una acción que sucederá inmediatamente después. De hecho, las conexiones de un área con otra por lo general son reproducidas en espejo por conexiones de retroalimentación desde el área «receptora» hasta el área «emisora»; la información fluye en ambos sentidos, lo que presumiblemente permite que las áreas coordinen su procesamiento.

De forma breve, la cognición motora se basa en un sistema multicomponente, con muchos procesos diferentes que ocurren simultáneamente, y estos procesos ocurren en distintas regiones cerebrales que dan soporte a diferentes redes neurales.

### 1.3. Papel de las representaciones compartidas

En el terreno de las cogniciones motoras, el concepto de **representaciones motoras compartidas** se refiere a nuestra habilidad mental para representarnos acciones realizadas por otras personas. Como veremos, se forma el mismo tipo de representaciones motoras cuando observamos actuar a otra persona que cuando realizamos la misma acción por nosotros mismos. Así, mediante la observación, podemos adquirir representaciones que nos permiten pensar más tarde sobre dichas acciones. Estas representaciones compartidas son críticas en la cognición motora dado que nos permiten aprender mediante la observación de las experiencias ajenas (tal como podemos aprender las relaciones afectivas mediante la observación de otros, como vimos en el Capítulo 8). La noción de las representaciones compartidas se utiliza ampliamente en la Psicología social, especialmente en el campo de la comunicación (Krauss y Fussell, 1991). Cuando decimos «lo que quiero decir es...» nos aseguramos de que las representaciones que tenemos se comparten de hecho por nuestro interlocutor, de tal modo que las respuestas «tienen sentido» para ambos y la conversación puede avanzar. Estas representaciones compartidas del significado de las palabras y de las interacciones sociales se interiorizan, esto es, se representan de forma que se pueden utilizar en el procesamiento mental incluso en ausencia de una interacción social en progreso. Del mismo modo en el que las representaciones lingüísticas compartidas posibilitan una conversación, las representaciones motoras compartidas hacen posible que interpretemos el significado de las acciones de otros y respondamos de forma apropiada. Las representaciones motoras compartidas se elaboraron, presumiblemente, en una fase temprana de nuestra evolución mediante la integración con el ambiente físico y social.

Al igual que en nuestra respuesta al encuentro de Watson con el sabueso de los Baskerville, nuestra habilidad para identificarnos con el protagonista se basa, en parte, en las respuestas físicas y motoras que el personaje desencadena en nosotros, los lectores.



*Control de comprensión*



1. ¿Qué es la cognición motora?
2. ¿Cuáles son las principales áreas motoras del cerebro y qué tipos de funciones sustentan?

## 2 Simulación mental y sistema motor

El instante en el que Holmes vació su arma fue la etapa final de un conjunto de procesos por los cuales su acción fue planeada como respuesta a los dramáticos acontecimientos de los que fue testigo. ¿Piensa usted que sus procesos de razonamiento se basaron en la clase de deducciones lógicas y de inducciones que se estudiaron en el Capítulo 10? De hecho, existe evidencia de que un diferente tipo de cognición está detrás de nuestros razonamientos en las situaciones de acción. Específicamente, uno de los modos en los que razonamos es mediante la formación y transformación de imágenes mentales de posibles acciones y mediante la «observación» de las consecuencias

de dichas acciones. Esto tiene sentido debido a que las imágenes y la percepción comparten la mayoría de los mismos mecanismos neurales (Ganis *et al*., 2004; Kosslyn *et al*., 1997; Kosslyn *et al*., 2006). Así pues, la «observación» de los acontecimientos en una imagen mental puede cambiar nuestra conducta tanto como el observar la conducta de otra persona. De hecho, muchos atletas creen que repasar mentalmente sus movimientos antes de ejecutarlos en el campo les ayuda a hacerlo mejor, y la investigación apoya su creencia. Se ha demostrado que las **imágenes motoras**, la simulación mental de una acción sin llegar a realizarla físicamente, tiene un efecto positivo en la realización posterior de dicha acción (Feltz y Landers, 1983).

No sólo pueden las imágenes mentales guiar nuestra cognición motora, sino que la cognición motora puede a su vez afectar a nuestras imágenes mentales. Evidencias convergentes procedentes de diversas fuentes indican que las imágenes motoras implican procesos que están relacionados con la programación y la preparación de las acciones actuales. La diferencia esencial es que en el caso de las imágenes motoras, la acción no se realiza. Los procesos que subyacen la cognición motora pueden dirigir el modo en el que se transforman las imágenes mentales. En este apartado veremos que el mecanismo que nos permite producir acciones nos permite también anticipar las consecuencias probables de realizar una acción.

## 2.1. *Priming* motor y representación mental

Las simulaciones mentales deben estar guiadas mediante tipos específicos de representaciones mentales. Adquirimos conocimiento de la naturaleza de esas representaciones mediante la consideración de un tipo de *priming*. El *priming*, como hemos visto antes, es la facilitación del procesamiento que resulta de realizar procesos previos. En la investigación de la cognición motora, el ***priming* motor** es el efecto por el que el observar un movimiento o una acción facilita realizar uno mismo una respuesta motora similar. El *priming* motor proporciona la evidencia para representaciones compartidas cuando observamos un movimiento o una acción y cuando producimos el mismo movimiento o acción por nosotros mismos. La existencia de estas representaciones compartidas sugiere que las simulaciones mentales son particularmente útiles para el razonamiento sobre posibles acciones que uno mismo u otro cualquiera pueda tomar. Consideremos los resultados de tres estudios que han explorado los ciclos de la percepción-acción.

Para examinar los efectos de la percepción en la producción motora, los investigadores diseñaron un experimento que se basaba en la reproducción de un movimiento observado (Kerzel *et al*., 2000). Se dio instrucciones a los sujetos de que observaran «un lanzamiento» en una pantalla de ordenador en la cual un disco (objeto A) colisionaba con otro (objeto B) al que aparentaba poner en movimiento. Los investigadores variaban la velocidad de ambos objetos A y B. Inmediatamente después del lanzamiento, se pedía a los sujetos que reprodujeran la velocidad del objeto A mediante el movimiento de un puntero sobre una pizarra electrónica. Los investigadores hallaron que no sólo la velocidad con la que se había percibido el movimiento del objeto A influía en la velocidad que los sujetos reproducían, sino que aun cuando se dijera a los sujetos que sólo reprodujeran la velocidad del objeto A, sus representaciones de velocidad estaban también influenciadas por la velocidad del objeto B. La sola percepción del objeto B había causado el *priming* de los sujetos e influenciado la velocidad a la que más tarde moverían el objeto A.

Se solicitó a sujetos que realizaran una tarea más compleja, que recuerda al efecto de Stroop, en un estudio que investigaba la relación existente entre la percepción de los movimientos de otra persona y la producción de movimientos por uno mismo. Los investigadores presentaron a los sujetos esquemas de dos gestos manuales, uno con las manos extendiéndose y otro con las manos cerrándose (Sturmer *et al.*, 2000), como se muestran en la Figura 11-2. Se dio instrucciones a los sujetos para que abrieran o cerraran sus propias manos conforme al *color*, no a la posición de la mano que actuaba como estímulo: rojo significaba «cerrándose», azul significaba «abriéndose». Los investigadores observaron que la velocidad de la respuesta era más rápida cuando la posición de la mano que actuaba como estímulo coincidía con la respuesta que se requería —por ejemplo, cerrar la mano cuando la mano estímulo era roja *y* estaba cerrándose; la respuesta de cerrar la mano era más lenta si la mano de estímulo era roja y estaba extendida. La percepción de la posición de la mano de estímulo —aunque irrelevante para la tarea— influía claramente en la producción del propio movimiento. No podemos ignorar las acciones de otros y esas acciones causan *priming* en las acciones correspondientes de nosotros mismos.

Además, Castiello y sus colaboradores (2002) exploraron la naturaleza y especificidad del *priming* motor mediante el estudio de las respuestas conductuales de un brazo robótico y de un brazo humano a determinadas acciones. De forma consistente con las conclusiones que obtuvimos en la sección previa, en cuatro experimentos distintos estos investigadores encontraron una ventaja de *priming* para el brazo humano sobre el brazo mecánico —esto es, las respuestas de los sujetos eran más rápidas cuando el modelo era humano. El modelo humano también producía respuestas más específicas y delicadas de lo que lo hacía el modelo robótico: por ejemplo, el ver a un modelo humano inducía a los sujetos a ajustar el cierre de su mano en función del grado de cierre que habían observado en el modelo, pero este efecto no ocurría cuando los sujetos observaban el modelo robótico.

Al considerarlos en conjunto, los hallazgos de estas investigaciones sugieren que la simple observación de un movimiento o de una acción puede causar el *priming* de respuesta similar en el observador. Estos resultados proporcionan apoyo para la deducción de que la observación de un movimiento o una acción y la realización de la acción correspondiente comparten un mismo sistema de representación. Estas representaciones se pueden provocar de muchas maneras diferentes, incluyendo la lectura

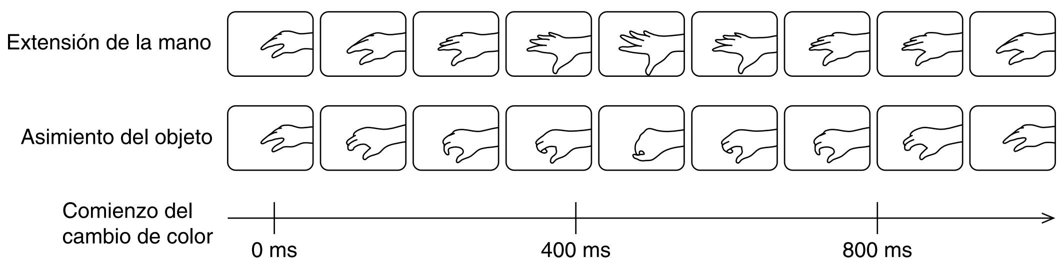



**FIGURA 11-2** Investigación sobre la posición de la mano

Sturmer, Aschersleben y Prinz (2000) presentaron a los sujetos de su estudio estas posiciones de la mano. El color variaba de rojo a azul, lo que daba una pista a los sujetos para que abrieran o cerrasen su mano. Los sujetos respondieron con mayor rapidez cuando la posición de la mano que servía de estímulo coincidía con la respuesta que se requería.

(Sturmer, B., Aschersleben, G. y Prinz, W. (2000). Correspondence effects with manual gestures and postures: A study of imitation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 26*, 1746-1759).

de las palabras escritas por un buen novelista. Ahora es menos sorprendente que nuestro cuerpo respondiera a la terrible experiencia de Watson cuando leímos *El sabueso de los Baskerville*.

## 2.2. Programas motores

Nos encontramos al volante de un automóvil, esperando que la luz de un semáforo cambie a verde. Si anticipamos el cambio de señal, seremos más rápidos para responder a la luz cuando ésta pase a verde. Esto se debe a que cuando anticipamos, ponemos en marcha (en ocasiones de forma inconsciente) un **programa motor**, la representación de una secuencia de movimientos que está planeada con anticipación a su realización, que es necesaria para soltar el freno y apretar el acelerador. Los programas motores subyacen a la cognición motora; se pueden poner en marcha no sólo para producir un movimiento sino también para razonar sobre las consecuencias de moverse de un modo determinado.

Estudios sobre el Tiempo de Respuesta (TR) han contribuido ampliamente a la investigación de programas motores. Una forma de estudiar la naturaleza de los programas motores es observar qué ocurre inmediatamente después de que una persona deba realizar una acción. En la estructura de los modelos de procesamiento de la información, el concepto de **anticipación motora** se refiere al conjunto de operaciones de procesamiento que se requieren para preparar un programa motor. Dicho procesamiento ocurre después de que se identifique el estímulo y antes de que se ejecute la respuesta. Durante la primera parte del proceso de preparación, la actividad eléctrica que debería registrarse cuando se contrae un músculo no es evidente, mientras que más tarde en el proceso se activa el músculo, pero antes de que comience el movimiento. Este contraste es una sólida prueba a favor de que los procesos mentales sirven para iniciar los programas motores. Estos hallazgos demuestran que existen dos etapas distintas de anticipación motora: el proceso de planificación —que también se puede utilizar para crear simulaciones mentales— y el proceso que inicia la producción de la respuesta. Más aún, se ha demostrado que el tiempo necesario para iniciar una respuesta después de una señal aumenta con la complejidad de la acción, relación que sugiere que una acción más compleja requiere mayor tiempo para planificarse.

¿Qué ocurre exactamente en el cerebro durante la anticipación motora? En los seres humanos, la actividad eléctrica cerebral se puede registrar mediante electroencefalografía (EEG). La corriente eléctrica negativa se relaciona con la actividad cortical y es bien conocido que antes de un movimiento se da un ligero aumento de dicha señal eléctrica en las regiones centrales de la corteza cerebral. Esta señal eléctrica, llamada *potencial de preparación*, parece que proviene de AMS. Otra señal este tipo, originada en la corteza prefrontal, precede a la acción voluntaria en más tiempo de lo que lo hace el potencial de preparación. Además de esto, los estudios de RMf han demostrado que la anticipación no se limita a un incremento en la activación de AMS, sino que también incluye a la corteza parietal, al tálamo y al cerebelo (Decety *et al*., 1992). Tales hallazgos sugieren que la anticipación motora tiene en cuenta no sólo el propio movimiento deseado (el resultado del sistema), sino también el contexto y los medios. Estas representaciones pueden ser útiles no sólo para el control de los movimientos, sino también para muchas formas de razonamiento y de resolución de problemas.

Como se mencionó anteriormente, para emplear representaciones motoras en el razonamiento y en la solución de problemas se necesita abstenerse de realizar movi-

mientos (al menos hasta que se esté preparado). Las anticipaciones motoras tienen efectos inhibidores a nivel de la médula espinal, el nivel de reflejos que —a fin de ser útiles— deben ocurrir muy rápidamente, en menos tiempo del que sería necesario para que los estímulos alcanzasen el cerebro para su procesamiento y respuesta. Se ha demostrado que durante la preparación para realizar un movimiento, se inhibe al nivel de la columna vertebral que corresponde al conjunto de músculos importantes para ese movimiento. Prepararse para golpear un balón, por ejemplo, implicaría inhibición en una zona relativamente inferior de la médula espinal, mientras que prepararse para arrojar una pelota de béisbol implicaría inhibición a un nivel medular bastante más superior. Estos mecanismos permiten el bloqueo del movimiento mediante una inhibición masiva que actúa a nivel medular para proteger a las neuronas motoras de un desencadenamiento prematuro de la acción. Es este mecanismo inhibidor el que posibilita que no se arroje lejos una taza de agua hirviendo cuando una gota nos salpica las manos.

Aquí nos encontramos con una cuestión interesante que ilustra cómo la cognición motora se puede utilizar para algo más que razonar sobre nuestras propias acciones: las representaciones que subyacen a nuestros propios programas motores también se utilizan para anticipar las acciones de los demás. Esto se demostró mediante un estudio de neuroimagen en el cual se presentó a los sujetos un punto negro en una pantalla que se movía como si alguien estuviera escribiendo a mano una carta o, de forma alternativa, como si alguien estuviera comenzando a apuntar a una diana grande o a una pequeña (Chaminade *et al.*, 2001). En las dos condiciones, la percepción de la primera parte del movimiento del punto influyó en la expectativa de los sujetos sobre el siguiente. Por ejemplo, ver un movimiento del punto como si alguien estuviera escribiendo a mano produjo activación en las áreas corticales que sirven para producir la escritura manuscrita. Del mismo modo, hay estudios que han demostrado que las personas pueden visualizar anticipadamente las consecuencias o resultados de las acciones. Flanagan y Johansson (2003) investigaron los movimientos oculares de sujetos mientras éstos observaban a otros individuos realizar una tarea. Los movimientos oculares de los observadores eran similares a los que ocurrían en quienes realizaban realmente la tarea.

Hemos estado viendo los programas motores en el contexto de la guía de las acciones en curso, pero los seres humanos podemos utilizar dichos programas para anticipar y planificar nuestras acciones futuras. Una manera de hacerlo es imaginar cuál podría ser nuestra conducta en varios contextos.

## 2.3. Simulación mental de la acción

Dediquemos ahora algo de tiempo a ver cómo podemos poner en marcha «simulaciones mentales» de acciones. Podemos construir los mismos programas motores que podrían controlar la acción, pero impedimos que impliquen a las estructuras neurales que realizan realmente el movimiento. En vez de eso, utilizamos los programas motores para guiar los movimientos de las imágenes mentales, lo que nos permite «ver» las consecuencias de ciertas acciones. Por ejemplo, podemos notar el ángulo preciso al cual deberíamos situar nuestra mano para disparar a aquel sabueso gigante en un órgano vital. Al contrario que en la situación de los programas motores, somos conscientes de nuestras simulaciones mentales.

Si los mismos programas motores que guían los movimientos en las imágenes mentales guiaran también los movimientos reales, podríamos esperar que la práctica con imágenes mentales ayudara a una persona a realizar la actividad correspondiente. Y, de hecho, hay muchas pruebas comportamentales y neurofisiológicas de que las imágenes motoras tienen efectos positivos significativos en el aprendizaje de habilidades motoras, esto es, en controlar secuencias complejas de movimientos tales como los necesarios para hacer el tiro de una bola de golf. Los investigadores han demostrado que cambios en los programas motores inducidos por el entrenamiento mental pueden hacer a las personas más fuertes. Por ejemplo, Yue y Cole (1992) compararon la fuerza dactilar de dos grupos, uno que realizaba de forma repetida contracciones musculares isométricas y otro que recibía tan sólo entrenamiento de imágenes mentales, aprendiendo a imaginar cómo hacer los movimientos, pero sin realizarlos realmente. Ambos grupos incrementaron la fuerza de sus dedos, los que realizaron los ejercicios isométricos en un 33%, el grupo de las imágenes en un 22%. Así pues, el aumento de la fuerza se puede conseguir sin activación muscular repetida.

Una razón por la que las imágenes motoras nos permiten planificar acciones reales es que las restricciones del mundo físico perfilan nuestras imágenes de un modo similar a como perfilan nuestras acciones. Por ejemplo, cuando se pide a los sujetos que anden mentalmente hacia metas emplazadas a diferentes distancias, el tiempo que les lleva realizar esta tarea varía de acuerdo con la distancia del destino final. Y cuando se les pide que se imaginen a sí mismos andando hacia una meta mientras que transportan una carga pesada, los sujetos dicen que les lleva más tiempo alcanzar su destino que cuando imaginan el trayecto con una carga más ligera (Decety, 1996). Además, los pacientes de Parkinson (que experimentan una ralentización de sus movimientos) cuando se les pide que produzcan y que imaginen movimientos secuenciales con los dedos, se ralentizan en *ambas* tareas (Dominey *et al*, 1995). En conjunto, estos hallazgos sugieren que las imágenes motoras y la producción motora utilizan las mismas representaciones, y que las características físicas de los objetos y acontecimientos influyen tanto en las acciones imaginadas como en las realizadas.

La diferencia neural entre la ejecución motora y las imágenes motoras parece que no es esencialmente una cuestión del «cómo» sino del «cuánto». Las regiones motoras en el cerebro se activan no sólo durante la realización real, sino también durante su imaginación, pero de manera menos fuerte que durante la realización real. Un estudio de RMf en del cual se pidió a los sujetos que ejecutasen física o mentalmente una tarea de oposición entre «índice y pulgar» encontraron que la corteza motora contralateral se activaba en ambas tareas (los resultados de las imágenes se muestran en la Figura 11-3). En la tarea de ejecución mental, sin embargo, la activación nunca fue superior al 30% de la que se encontró durante la ejecución real (Roth *et al*., 1996).

Correr a través de un páramo oscuro para rescatar a un amigo del ataque de un perro monstruoso —como hace Watson en las líneas de *El sabueso de los Baskerville* que figuran al comienzo del capítulo— es una situación bastante dramática, y las anécdotas de muchos lectores de novela negra sugieren que el pálpito y la respiración jadeante de muchos personajes se pueden reflejar en la respuesta de los lectores. Para hallar evidencias específicas de este tipo de relación, se ha investigado (en circunstancias menos peligrosas) la idea de que la simulación mental emplea el mismo procesamiento neural que la experiencia real, como se refleja a nivel de funcio-

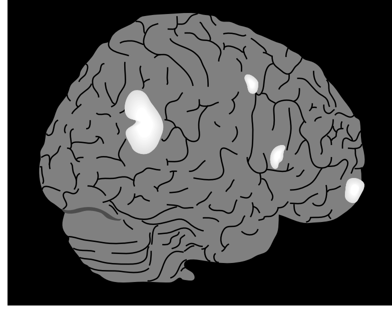


**FIGURA 11-3** El poder de las imágenes motoras

Ejecutar realmente e imaginar conscientemente una acción —en este caso, frotar una y otra vez el pulgar con otro dedo— activa conjuntos similares de áreas corticales: la corteza premotora, la motora y la parietal así como el cerebelo.

(Roth, M., Decety, J., Raybaudi, M., Massarelli, R., Delon, C., Segebarth. C., Morand, S., Descorps, M., y Jeannerod M., (1996). Possible involvement of primary motor cortex in mentally stimulated movement: an fMRI study. *NeuroReport,* 7: 1280-1284. Reimpreso con autorización de Lippincott, Williams and Wilkins).

nes autónomas tales como la frecuencia cardíaca y la respiración (que no están, en general, bajo el control de la voluntad). En un estudio que ha sido replicado por varios grupos de investigación, se realizaron medidas de la actividad cardiaca y respiratoria en voluntarios sanos a los que se les pidió que realizasen un ejercicio de correr en una cinta a la velocidad de 5,8 y 10 km por hora (Decety *et al*., 1991). También se les pidió que simularan mentalmente andar o correr por la cinta coordinando sus esfuerzos con el sonido de la cinta que se había grabado durante el ejercicio real. Tanto la frecuencia cardíaca como la ventilación pulmonar variaron con el grado del esfuerzo imaginado, aunque no hasta el punto alcanzado con el ejercicio físico. El grado de activación autónoma real de un sujeto que corría mentalmente a 12 km por hora era comparable al de un sujeto que andaba realmente a la velocidad de 5 km por hora. Sin embargo, sólo imaginarlo cambió el ritmo cardíaco y el ritmo de respiración, lo que es una fuerte evidencia de que la imaginación puede involucrar al sistema nervioso autónomo.

¿Cuál es la relación existente entre imaginar nuestras propias acciones mediante una simulación mental y anticiparlas viendo las acciones de algún otro? Para investigar este tema, Ruby y Decety (2001) pidieron a voluntarios que se imaginaran acciones familiares, tales como limpiarse los dientes o grapar papeles, o que se imaginaran a otra persona haciendo esas actividades. Para más información sobre este trabajo, véase el epígrafe *Una visión más detenida*. Los resultados indicaron que tanto imaginarse a sí mismos como imaginarse a otros realizando una acción determinada produjo actividad en la corteza premotora, en el AMS y en el *precuneus*. Estas regiones del cerebro deben ser responsables de las representaciones motoras compartidas entre uno mismo y los otros. En cualquier caso, la superposición no está completa. Cuando los sujetos imaginaban sus propias acciones, se daba activación específica en la corteza cerebral somatosensorial y la parietal inferior del hemisferio izquierdo. Cuando los sujetos imaginaron la acción como hecha por otra persona, se detectaron activaciones adicionales en el lóbulo parietal inferior derecho, en el cíngulo posterior y en el polo frontal de la corteza cerebral. Estas regiones juegan un papel *en la distinción* entre uno mismo y los otros dentro de la representación motora neural compartida.

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

### Tomando perspectiva

Perrine Ruy y Jean Decety investigaron la base neural del fenómeno de tomar la perspectiva de otra persona, esto es, imaginarse a alguna otra persona realizando una acción. Informaron de sus resultados en el año 2001 en un trabajo titulado «Effect of Subjective Perspective Taking during Simulation of Action: A PET Investigation of Agency», *Nature Neuroscience, 4*, 546-550.

**Introducción**

Los investigadores han demostrado que existe una sorprendente similitud entre las redes neurales implicadas en la producción de una acción y el imaginarse a uno mismo realizando dicha acción. En las personas diestras, esta red incluye la corteza parietal inferior y la premotora así como el área motora suplementaria (AMS) del hemisferio izquierdo y el cerebelo derecho. Los investigadores citados se preguntaron «¿Qué procesos se ven implicados cuando nos imaginamos actuando no a nosotros mismos, sino a otras personas?»

**Método**

Los científicos examinaron con escáner los cerebros de individuos mientras que estos simulaban mentalmente varias acciones familiares y cotidianas (por ejemplo, dar cuerda a un reloj); se pidió a los sujetos que simularan estas acciones tanto desde su propia perspectiva (imaginándose a sí mismos realizando estas acciones) o adoptando la perspectiva de observar a otra persona (imaginándose a otras personas realizándolas). Todas las acciones que se seleccionaron para el estudio requerían utilizar la mano derecha dominante. Se entrenó a los sujetos (todos ellos diestros) en las tareas antes de la exploración con neuroimagen. En la exploración, estas dos perspectivas se desencadenaron, bien a partir de fotografías de objetos familiares, o bien a partir de frases que describían acciones familiares. Se llevaron a cabo también dos condiciones basales (fotos y frases habladas). Cada estímulo se presentó durante cinco segundos.

**Resultados**

Tanto la condición de la imagen mental de la perspectiva propia como la de la perspectiva ajena provocaron una activación común del AMS, la corteza premotora y la región occipito-temporal. Sin embargo, el solapamiento entre las dos condiciones no fue completo. Adoptar la perspectiva de otro individuo para simular las propias acciones tuvo como resultado una activación selectiva de la corteza frontal anterior y de la parte inferior derecha del lóbulo parietal.

**Discusión**

Este estudio demuestra que imaginarse uno mismo actuando e imaginarse a otra persona haciéndolo activa regiones neurales comunes. Este hallazgo es compatible con la idea de que se utiliza el mismo código neural para producir la acción, para imaginarla y para percibirla (Decety y Sommerville, 2003). Los investigadores también han propuesto que la activación específica tanto de la corteza parietal inferior derecha como de la corteza frontal anterior, cuando se imagina a otra persona actuando, proporciona un medio mediante el cual podemos determinar si una acción se puede atribuir a nosotros mismos o a otro agente.

Finalmente, nos podemos preguntar si *todas* las simulaciones mentales se basan en la cognición motora. La respuesta es que no. En primer lugar, consideremos un hallazgo clásico del que informaron Shepard y Metzler (1971) y que se ilustra en la Figura 11-4. En esta tarea, se preguntó a los sujetos sobre si los objetos de cada par eran idénticos o eran imágenes especulares (inténtelo el lector). Los sujetos refirieron que «rotaban mentalmente» un objeto hasta que se alineaba con el otro y que sólo después de esta rotación mental comparaban los dos objetos. Y, de hecho, cuanto más necesitaba ser girado el objeto situado a la derecha para alinearse con el de la izquierda, más tiempo necesitaba el sujeto para responder a la pregunta. Estos hallazgos indican que las personas no sólo pueden rotar objetos en dos dimensiones, como si vieran girar un CD, sino que también lo pueden realizar en una tercera dimensión: la profundidad.

¿Cómo se puede realizar dicha rotación mental? Los hallazgos de la investigación han demostrado que existe más de un modo por el cual se puede realizar esa tarea.

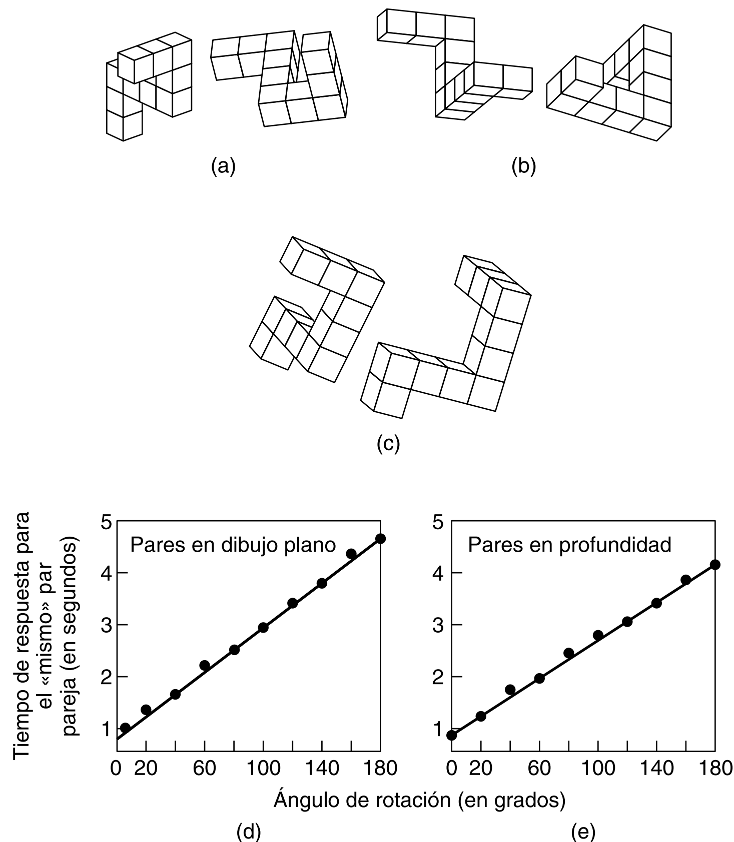



**FIGURA 11-4** Rotación mental

Los sujetos dicen que para decidir si los objetos de cada par son iguales o son imágenes en espejos, rotan mentalmente uno de ellos hasta que se alinea con el otro. Y, de hecho, cuanta más rotación se necesita, más tiempo requieren los sujetos (tal como muestran los gráficos). Esto ocurre tanto en rotaciones de un dibujo plano (que se dan sólo en dos dimensiones, como cuando se hace girar un CD sobre una mesa) como en rotaciones en profundidad (que se dan en las tres dimensiones).

(De «Mental Rotation of Three-Dimensional Objects», por R. N. Shepard y J. Metzler, 1971, *Science, 171*, pp. 701-703. Reimpreso con autorización).

Por ejemplo, Kosslyn y sus colaboradores (2001) pidieron a sujetos que realizaran la tarea de Shepard y Metzler mientras que se escaneaban sus cerebros, y les dieron instrucciones específicas sobre cómo imaginar la rotación de los objetos. En una condición, se pidió a los sujetos que se imaginasen rotando físicamente los objetos (girándolos con sus manos). En este caso, la corteza motora primaria y otras áreas motoras se activaron —lo que es una buena prueba de que la cognición motora estaba en funcionamiento. En la otra condición, se pidió a los sujetos que imaginasen que un motor eléctrico rotaba los objetos. En este caso, no se activaron las áreas motoras del cerebro (pero sí otras áreas frontales y parietales) —lo que habla contra la implicación de la cognición motora.

Muchos hallazgos adicionales de la investigación convergen para mostrar que aunque algunos tipos de simulaciones mentales están guiadas por la información motora, otros tipos están guiados por la información perceptiva sobre cómo los objetos aparecen cuando se mueven o interactúan de modos específicos (Stevens, 2005). Como vimos el Capítulo 4, las simulaciones mentales se pueden basar en representaciones perceptivas. Sin embargo, existen considerables evidencias de que la cognición motora puede también guiar nuestras simulaciones mentales (razón por la que los dos tipos de simulación se presentan en el mismo capítulo de este libro).



*Control de comprensión*



1. ¿Qué nos dice el *priming motor* sobre la cognición motora?
2. ¿Qué es un programa motor y cómo se utilizan los programas motores en la cognición?

## 3 Imitación

¿Cómo sabemos qué movimientos conseguirán un determinado objetivo? Sin dicho conocimiento, las simulaciones mentales no funcionarían. Una idea fundamental es que adquirimos dicha información, en parte, al observar a otros. De hecho, nuestro sistema cognitivo está hecho a la medida para permitirnos adquirir conocimiento de las consecuencias de las acciones mediante la observación de otras personas.

Específicamente, nos beneficiamos de observar a otros y de imitarlos. Al contrario que en el **mimetismo**, que es la tendencia a adoptar las conductas o posturas de otros de forma no intencionada o inconsciente (Chartrand y Bargh, 1999), la **imitación** es la capacidad de entender la intención de una acción observada y después reproducirla. El mimetismo está muy presente en la naturaleza; la imitación prácticamente se limita a los seres humanos. Incluso se reconoce que este atributo es inmensamente útil en el aprendizaje cultural (Tomasello, 1929).

### 3.1. Desarrollo de la imitación

La capacidad para imitar ha sido de interés para los psicólogos evolutivos durante muchas décadas. Inicialmente, los investigadores pensaron que la imitación era una

capacidad sofisticada y que se desarrolla tardíamente. El famoso psicólogo evolutivo Jean Piaget (1953) afirmaba que la capacidad de los niños para la imitación no se manifiesta hasta aproximadamente los ocho o 12 meses de edad. Se pensaba que los niños más pequeños carecían de la habilidad para hacer coincidir los movimientos observados con sus propios movimientos generados internamente.

Los estudios realizados durante las tres últimas décadas han puesto en entredicho este enfoque. En un estudio decisivo, Meltzoff y Moore (1977) demostraron que la imitación se da incluso en los recién nacidos. Los niños recién nacidos a los que se muestran gestos faciales tales como protrusiones labiales, apertura bucal y protrusión lingual, son capaces de reproducir dichos gestos (véase la Figura 11-5). Más aún, la imitación se observa incluso si se introduce una demora entre el estímulo y la respuesta, lo que elimina el reflejo como responsable de la reproducción del gesto por el recién nacido.

Mientras que inicialmente los bebés imitan acciones que implican, tales como sacar la lengua, a los seis meses de edad son capaces de imitar acciones con objetos, como puede ser agitar un sonajero (Butterworth, 1999). Además, con la edad los niños desarrollan la capacidad de hacer imitaciones diferidas durante períodos de tiempo crecientemente más largos (Barr *et al*., 1996). Más aún, incluso la imitación temprana no se limita a movimientos corporales sino que también incluye expresiones faciales emocionales (*véase* Field *et al*., 1982).



**FIGURA 11-5** El poder de la imitación

Incluso los recién nacidos pueden imitar expresiones faciales.

(De: A. N. Meltzoff y M. K. Moore, «Imitation of facial and manual gestures by human neonates». *Science*, 1977, 75-78).

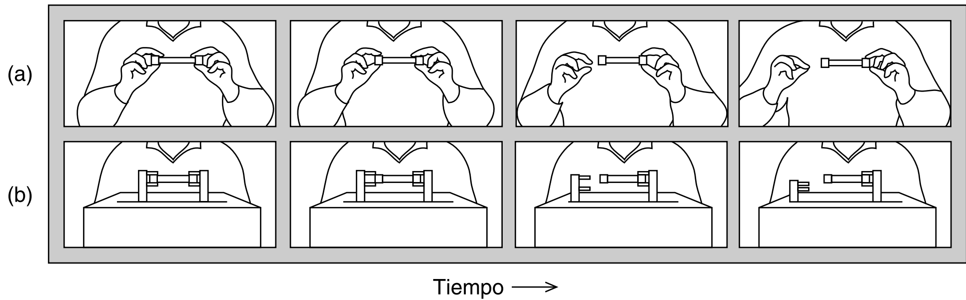



**FIGURA 11-6** ¿Qué, o a quién, imitamos?

Niños de 18 meses de edad observaron tanto (a) un actor humano como (b) un dispositivo mecánico intentando desmontar una pesa de gimnasia. Todos los niños miraron con interés, pero sólo los que observaron al actor humano imitaron la acción.

(Andrew N. Meltzoff, Understanding the Intentions of Others: Re-Enactment of Intended Acts by 18-months-old children. *Developmental Psychology*, 1995, vol. 31, n.° 5, fig. 2, p. 884. Copyright © 1995 American Psychological Association. Reimpreso con autorización).

Meltzoff y Gopnik (1993) argumentaron que en los niños pequeños la imitación de expresiones faciales emocionales creaba un estado de sentimiento interno en el niño que coincidía con el estado de sentimiento de su pareja. Una demostración indiscutible de la conexión entre sí mismo y el otro en los niños normales se encuentra en estudios que demuestran que los niños imitan las acciones de personas, pero no las de objetos (Legerstee, 1991). Este resultado fue explorado más exhaustivamente con el procedimiento de representación utilizado por Meltzoff (1995), que utilizaba la tendencia natural de los niños de varios meses de edad a copiar la conducta de los adultos, representando o imitando lo que ven. Por ejemplo, en un estudio, se mostró a dos grupos de niños de 18 meses de edad cómo un actor humano y un aparato mecánico desmontaban una pesa de gimnasia (véase la Figura 11-6). El actor humano nunca tenía éxito; una de sus manos resbalaba siempre en el extremo de la pesa. El artefacto mecánico fallaba del mismo modo, sus pinzas resbalaban sobre el objeto. Se mostraron a todos los niños las mismas imágenes, pero solamente aquellos que habían visto al actor humano intentaron desmontar ellos mismos la pesa. Los niños, aparentemente, representan mentalmente la conducta de otros en términos de objetivos y actos intencionales, en vez de en movimientos puramente físicos. También puede ser que los niños se identifiquen más con los seres humanos que con las máquinas y de forma inconsciente asuman que tienen capacidades similares a las de otros seres humanos.

Por otra parte, los niños imitan lo que entienden. Por ejemplo, los niños de 15 meses son felices al imitar a un adulto que acuesta a un pájaro en la cama pero les gusta menos imitar a un adulto que acuesta a un coche en la cama (Mandler y McDonough, 2000). No sólo representan acciones como dirigidas a objetivos, sino que también parecen ser capaces de tener ideas sobre lo que constituyen objetivos posibles.

En resumen, estos hallazgos proporcionan más pruebas de que el ciclo percepción-acción es parte de nuestra maquinaria intrínseca para el razonamiento y la resolución de problemas; incluso los niños pequeños se basan en representaciones mentales comparables para sus propias acciones y las ajenas. Más aún, dichos hallazgos se ajustan perfectamente a la tesis de que utilizamos nuestro sistema de acción como un modelo para entender las acciones de otros, lo que nos permite adquirir representaciones motoras de otros que, entonces, podemos utilizar para guiar nuestra propia conducta.

## 3.2. Componentes cognitivos de la imitación

Si la imitación fuera simplemente una respuesta automática como el mimetismo, no sería de mucha utilidad. Después de todo, los seres humanos no somos loros. Nuestras necesidades son mucho más diversas y la imitación compleja no se puede reducir a la mera percepción o a una conexión directa entre la percepción y la acción. En vez de eso, la imitación incluye el tener un plan de observar y después reproducir los movimientos observados, logrando el objetivo de la acción y reproduciendo los medios por los cuales se consigue el objetivo.

Como hemos visto en capítulos anteriores, nuestros objetivos e intenciones afectan al modo en el que procesamos los estímulos en la vida. De hecho, una serie de estudios de neuroimagen (Decety *et al*., 1997; Grèzes *et al*., 1998, 1999) ha demostrado que la *intención* de imitar acciones tiene un efecto de arriba a abajo en las regiones del cerebro involucradas en la *observación* de acciones (véase la Figura 11-7). En estos estudios, se dio instrucciones a sujetos adultos de observar cuidadosamente las acciones realizadas por un modelo humano tanto para su posterior reconocimiento como para la imitación. Cuando los sujetos observaban las acciones para imitarlas más tarde, se detectó activación en AMS, en la circunvolución frontal media, en la corteza premotora, en la región anterior del cíngulo y en la región superior e inferior de la corteza parietal de ambos hemisferios. Una pauta diferente de activación cerebral se encontró cuando los sujetos observaban pasivamente las acciones para reconocerlas (en este caso, la circunvolución parahipocámpica del lóbulo temporal fue la región que se activó principalmente). Así pues, la intención de imitar tiene un efecto de

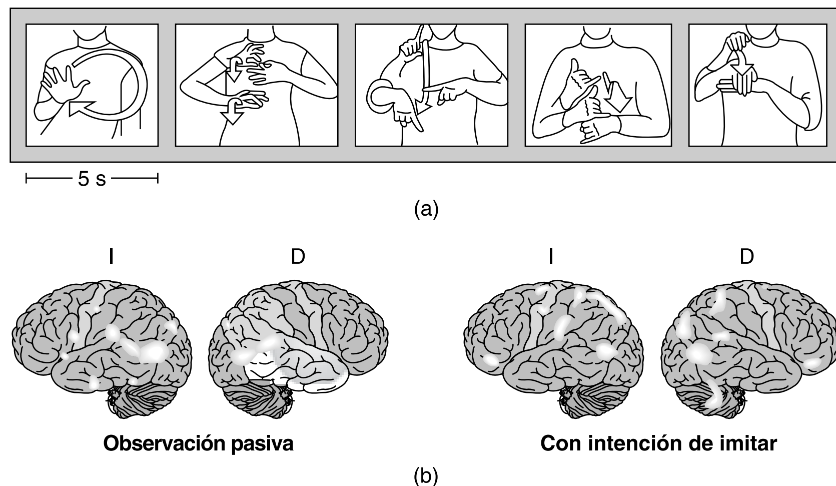



**FIGURA 11-7** El poder de la intencionalidad

(a) Se les mostró a los sujetos un modelo humano que realizaba estas acciones, cada una cinco segundos.
(b) Cuando los sujetos observaban estas acciones para imitarlas posteriormente, en comparación con cuando observaban pasivamente las mismas acciones, se detectó una activación cerebral adicional en el área motora suplementaria (AMS), la circunvolución frontal media, la corteza premotora, la región anterior de la circunvolución cingulada y la región superior e inferior de la corteza parietal. («I» y «D» indican hemisferio izquierdo y hemisferio derecho, respectivamente). Así pues, la intención de imitar tiene un efecto de arriba a abajo en el procesamiento de la información que se activa cuando observamos acciones.

(Decety, J., Grezes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., Grassi, F. y Fazio F. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy. *Brain, 120,* 1763-1777. Reimpreso con autorización de Oxford University Press).

arriba a abajo en el procesamiento de la información que participa en la observación la acción. Observar a otra persona con el propósito de imitarla sirve para sintonizar regiones involucradas en la generación de la acción. Estos estudios apoyan firmemente la idea de que observar una acción con la intención de imitarla activa regiones neurales similares a las que se utilizan durante la producción real de la acción. Además, los mecanismos que nos permiten imitar dependen de si observamos acciones con significado o sin él. Aunque los adultos normales y los niños tienen la capacidad de imitar los dos tipos de acción, las pruebas procedentes de investigaciones con pacientes con apraxia sugiere que la reproducción de acciones con significado y sin significado está mediada por sistemas neurales diferentes. La **apraxia** es una enfermedad neurológica que afecta a la capacidad de realizar movimientos voluntarios, especialmente de manipular objetos. El hemisferio izquierdo, cuya lesión dificulta la capacidad de imitar, es el dominante para el control de la acción y para el lenguaje en la mayoría de las personas. Ocurre con frecuencia que los pacientes con apraxia tienen alteraciones del lenguaje y del movimiento. Los investigadores han observado que en los pacientes con apraxia la capacidad de imitar gestos con significado está relativamente preservada, mientras que la imitación de gestos sin significado está afectada (Goldenberg y Hagmann, 1997). Basándose en observaciones clínicas, Rothi y sus colaboradores (1991) postularon la existencia de, al menos, dos vías de procesamiento parcialmente independientes. Una pasa por las representaciones en la memoria a largo plazo de gestos familiares (y, por lo tanto, con significado). La otra vía, que puede utilizarse para imitar gestos con y sin significado, proporciona un enlace directo desde la percepción hasta la producción del movimiento.

Los estudios con sujetos normales demuestran que también éstos son mejores imitando acciones significativas que acciones sin significado: fueron capaces de mantener en la memoria operativa más acciones con significado que acciones sin él (Rumiati y Tessari, 2002). Asimismo, en los sujetos normales se activaban diferentes regiones del cerebro al imitar los dos tipos de acción. De hecho, diferentes regiones cerebrales se activaban cuando los sujetos sólo observaban los dos tipos de acciones. Por ejemplo, un estudio con TEP de sujetos que observaban acciones con significado mostró una mayor activación en las regiones frontal y temporal del hemisferio izquierdo, mientras que observar acciones sin significado activó principalmente la vía occipito-parietal derecha (Decety *et al*, 1997). Estos resultados apoyan el punto de vista de que las acciones con significado y las acciones sin significado se procesan por vías diferentes.

¿Qué obtenemos cuando imitamos? No sólo conductas, en sí mismas. Más bien, obtenemos los medios para generar un programa motor con el que conseguir un objetivo. Los seres humanos tenemos la capacidad de reproducir el estado objetivo de una acción (tal como coger una taza de café), incluso cuando para ello sea necesario proceder de modo distinto al observado o variar los medios necesarios para conseguir el objetivo (como hacer resbalar —muy cuidadosamente— la servilleta sobre la que descansa la taza hasta tener ésta al alcance de la mano antes de cogerla); y podemos hacerlo incluso en ausencia del modelo que se observó inicialmente (Tomasello, 1999). En un estudio, niños de 14 meses de edad contemplaron un acontecimiento en el cual una actriz activaba un panel luminoso utilizando la cabeza y no las manos. Cuando las razones de la actriz para no utilizar las manos para encender el panel estaban claras (por ejemplo, sostenía una manta alrededor de su cuerpo utilizando las dos manos para ello, los bebés imitaron tan sólo el objetivo del acontecimiento, encendiendo el panel luminoso por cualquier medio disponible. Por lo contrario, cuando no había

razón aparente por la que la actriz había utilizado la cabeza para encender la luz, los niños representaron tanto los medios como el objetivo y utilizaron la cabeza tal como había hecho la actriz (Gergeley *et al*., 2002).

Chaminade y sus colaboradores (2002) utilizaron neuroimagen en un intento de identificar en qué extensión, si es que en alguna, diferían el procesamiento neural del objetivo y el de los medios. (En el lenguaje utilizado en el capítulo relativo a resolución de problemas, ésta es la diferencia entre el «estado objetivo» y una serie de «operadores»). En dicho experimento, los sujetos vieron a un modelo humano realizando construcciones con piezas de *Lego*. Se definió el objetivo como colocar un bloque en una posición determinada, y los medios se definieron como el programa motor —las series específicas de movimientos— que se utilizó para conseguir el objetivo. Se mostró a los sujetos tanto los medios como el objetivo (la totalidad de la acción fue realizada por la actriz y acabó con el bloque en su posición); sólo el objetivo (el bloque en su posición final) o sólo los medios (la secuencia de movimientos). Se pidió a todos los sujetos que imitaran lo que habían observado. Cuando los sujetos imitaban bien los medios, bien el objetivo, estaban superponiendo parcialmente conjuntos de activación en la corteza prefrontal dorsolateral derecha y en el cerebelo. Esto implica que dichas regiones están involucradas en el procesamiento de los objetivos y de los medios de acción con la intención de imitar. Además, se detectó una actividad específica en la corteza cerebral prefrontal medial durante la imitación de los medios, mientras que la imitación del objetivo se asoció con un aumento de actividad en la corteza premotora izquierda. Es obvio que el procesamiento de los medios y del objetivo no son idénticos. El acto de imitar parece implicar dos componentes (medios y objetivos) que son, al menos, parcialmente disociables.

Es interesante el hecho de que se encontró una activación de la región prefrontal medial derecha sólo en el caso de la imitación de los medios (véase la Figura 11-8 del Inserto a color O). Se sabe que esta región juega un papel crítico en la deducción de las intenciones ajenas y está involucrada consistentemente en tareas que requieren un conocimiento del estado mental de otros (Blakemore y Decety, 2001). Su activación durante la imitación apoya la idea de que la imitación implica deducción o identificación de la intención de una acción.

## 3.3. Teorías de simulación de la comprensión de la acción

Imaginémonos que somos Holmes. Al ver que nuestro amigo es atacado, probablemente hubiéramos tenido la misma intención y consecuentemente hubiéramos generado un plan de acción similar al de Holmes —incapacitar a la fiera tan rápido como pudiéramos. Cuando nos ponemos en el lugar de otro, bien por observación o por pura imaginación, podemos entender sus planes (y utilizar esos planes más tarde nosotros mismos). ¿Cómo es posible que podamos llegar a entender los planes de otros si debemos tener en cuenta estados mentales internos, privados e inobservables?

Una considerable especulación ha rodeado esta pregunta durante siglos (*véase* el apartado *Debate*). Muchos investigadores han especulado que nuestras propias acciones y los estados mentales que las acompañan suponen una rica fuente de información para entender las acciones de los otros. En tiempos modernos, al menos desde James Mark Baldwin (1861-1934), figura pionera en la Psicología experimental, los teóricos han sugerido que nuestra experiencia como agentes nos ayuda a entender

DEBATE

## ¿Cómo sabemos de quién es el plan?

Las evidencias indican que representamos los planes ajenos para las acciones de un modo muy parecido a como representamos las propias. Tomadas en su valor nominal, las evidencias de un sistema de representación compartido para las acciones en el yo y las acciones en los otros implica una paradoja: si las representaciones se comparten de hecho, ¿cómo se puede preservar una distinción entre el yo y los otros? A primera vista la respuesta puede parecer obvia: tenemos la representación del «yo» y sabemos cuándo una representación está asociada con planes. Sin embargo, la especulación de la naturaleza —en realidad de la propia existencia— del yo es una antigua cuestión. Los puntos de vista han cambiado desde el considerar el yo como una entidad mental tangible unificada (Descartes 1641/1985), a contemplar el yo como una ilusión que surge de varias percepciones y sensaciones (Hume, 1739; James 1890), o contemplar el yo como una entidad mítica (Kenny, 1988). Los hallazgos del siglo XXI pueden esclarecer este clásico debate.

Es cierto que en ocasiones informamos erróneamente de acciones realizadas por otros como realizadas por nosotros mismos y viceversa (Frith *et al.*, 2000). Sin embargo, los experimentos con neuroimagen no han podido encontrar un «centro del yo» en el cerebro (aunque hay alguna evidencia del papel de la corteza prefrontal derecha en el procesamiento del yo; véase Keenan *et al.*, 2000); en vez de ello se ha identificado un conjunto de áreas, entre las que se incluyen la región inferior de la corteza parietal, la región posterior del cíngulo y la corteza prefrontal, las cuales, además de tener otras funciones, participan en la distinción entre las acciones realizadas por uno mismo y las acciones ajenas (Blakemore *et al.*, 1998; Decety *et al.*, 2002; Farrer & Frith, 2002; Farrer *et al.*, 2003; Ruby y Decety, 2001). Todos nosotros somos capaces, por lo general, de atribuir una acción a su propio agente; todos tenemos un «sentido de la propiedad» y todos tenemos la experiencia subjetiva del sentimiento del yo. ¿Cómo se consigue esto?

Existen un cúmulo de evidencias de que el cerebro contiene «modelos» internos que representan aspectos del propio cuerpo y de su interacción con el ambiente (*véase* p. ej., Frith *et al.*, 2000). Esta integración se puede describir mediante el modelo de alimentación hacia delante del tipo general resumido por Decety y Sommerville (2003), que nos capacita para reconocer las consecuencias sensitivas de las acciones generadas por uno mismo. Cada vez que una instrucción motora se emite para realizar un movimiento, se produce una copia de la orden motora, conocida como *copia eferente*. Esta copia eferente se utiliza para predecir las consecuencias sensitivas de dicho movimiento (Greenwald, 1970). Esta predicción sensitiva se compara entonces con las consecuencias sensitivas reales del hecho, y el resultado de la comparación se utiliza para determinar la fuente de los acontecimientos sensitivos. Esto es por lo que no nos podemos hacer cosquillas a nosotros mismos: las consecuencias sensitivas de dicha acción se predicen y se cancelan. Las predicciones sensitivas asociadas con una amplia variedad de acciones motoras pueden almacenarse y así proporcionan un banco de datos para el futuro.

Este tipo de modelo se ha propuesto para responder de la consciencia de nosotros mismos como la fuente de nuestros pensamientos, deseos y creencias (véase, p. ej., Frith, 1992). Los investigadores han examinado cómo este modelo anterógrado se podría utilizar para predecir lo que hará otra persona (Blakemore y Decety, 2001). Cuando vemos a alguien realizar una acción, se invierte el modelo de alimentación hacia delante. Reclutamos las consecuencias sensitivas de las acciones de otra persona a partir de nuestro propio modelo, las usamos para «estimar» cuáles podrían haber sido nuestras propias intenciones para dicha acción y atribuimos esas intenciones a la otra persona. La corteza parietal y la ínsula juegan un papel crucial en la comparación entre las acciones propias y las ajenas.

Sin embargo, una explicación alternativa para distinguir entre uno mismo y los otros dentro de la red de representaciones compartidas depende del momento de activación de un número de áreas corticales sin la utilización de una copia eferente. Grèzes *et al.*, (2004) mostraron a los sujetos vídeoclips de ellos mismos y de otros, personas no familiares, elevando cajas de diferentes pesos. Pidieron a los sujetos que decidieran si el actor que veían tenía una expectativa correcta o falsa del peso. Cuando los sujetos realizaron este juicio se activaron estructuras del lóbulo frontal y el parietal relacionadas con la acción. Más aún incluso, la actividad neural comenzó antes cuando los sujetos realizaron juicios sobre

sus propias acciones que cuando hicieron juicios sobre otros. Este último descubrimiento indica que la dinámica de la activación neural dentro de la red cortical compartida aporta un medio para distinguir las acciones propias de las acciones ajenas. Pero no indican que esto sea todo. Sólo después de que se realicen más investigaciones llegaremos a entender exactamente cómo sabemos cuando un plan es nuestro, y sólo nuestro, o si de hecho está siendo provocado por nuestro conocimiento de lo que otra persona está realizando o intentando realizar.

a los otros, también como agentes. El propio Baldwin creía que la imitación era el medio por el cual los niños llegaban a entender a los otros.

> Ahora mientras procede con estas imitaciones de otros, se encuentra a sí mismo entendiéndoles gradualmente, llegando, al hacer las mismas acciones que ellos, a descubrir cuáles son sus sentimientos, cuáles son sus motivos y cuáles las leyes de su conducta (Baldwin, 1887, p. 88.)

A principios del siglo XX, los sociólogos teóricos Charles Horton Cooley y George Herbert Mead compartían la noción de que nuestro conocimiento de otras personas se basa en analogías con el yo. Esta idea ha sido adoptada por filósofos de la mente y por psicólogos en la forma de la *teoría de la simulación*, la cual postula que obtenemos conocimiento de los planes, creencias y deseos que motivan las acciones ajenas mediante la simulación encubierta de esas mismas acciones por nosotros mismos, sin llegar a realizarlas en la realidad (por ejemplo, Goldman, 2002; Gordon, 1986; Harris, 1989; Heal, 1998). Es interesante que este punto de vista coincida con la teoría de la simulación en el campo de la Psicología, según la desarrolló Hesslow (2002), el cual se basa en tres supuestos sobre la función cerebral: (1) la conducta se puede simular mediante activación de estructuras motoras, como sucede durante una acción manifiesta pero suprimiendo la ejecución de dicha acción; (2) la percepción se puede simular mediante activación interna de la corteza sensitiva, sin que haya estímulos externos; (3) tanto las acciones manifiestas como las encubiertas pueden producir la simulación perceptiva de sus consecuencias normales —por ejemplo, imaginándose cómo gira un objeto se puede producir una imagen mental de lo que se vería si el objeto estuviera rotando (Kosslyn *et al.* 2001, 2006).

Quienes proponen el punto de vista de la simulación, sugieren que la conducta de los otros se puede entender simulando la misma conducta uno mismo y reflejando los estados internos o mentales que acompañan a dicha simulación. Las acciones ajenas se pueden predecir también de la misma manera: uno se puede poner en el lugar de otro, simular los estados mentales presumibles de la otra persona y deducir entonces la acción más probable. Estas simulaciones nos pueden ayudar a tener acceso al conocimiento almacenado en representaciones implícitas que de otro modo permanecerían inaccesibles.

## 3.4. Neuronas especulares y cartografía del yo y del otro

Hasta hace poco, la especulación de que nuestro entendimiento de las acciones ajenas se puede basar en la analogía con nosotros mismos había recibido escaso apoyo. Como se ha comentado anteriormente, muchas investigaciones sugieren ahora una representación común para la percepción y la producción de acciones (*véase* por ejemplo, Prinz, 1997). El trabajo con adultos ha documentado la **transferencia de la percepción a la acción**, que es parte del ciclo percepción-acción: contemplar una acción facilita la

capacidad posterior para planificar y realizar esta acción (bastante después de que los efectos de *priming* afecten dicha conducta; véase p. ej., Hecht *et al*., 2001). Más aún, ciertos estudios han comprobado que hay interferencia perceptiva durante la planificación de la acción (*véase*, por ejemplo, Müsler y Hommel, 1997), un efecto que sería de esperar si es que acción y percepción comparten representaciones comunes y estas representaciones similares se confunden unas con otras.

Hemos visto que la investigación ha revelado una base neural compartida para la observación y la realización de una acción tanto en los seres humanos como en los primates no humanos. Además, los registros electrofisiológicos han demostrado que neuronas específicas de la corteza premotora ventral de los monos disparan durante la ejecución de movimientos de las manos y la boca. Pero aún hay más: los mismos investigadores descubrieron que la mayoría de estas neuronas no sólo descargan cuando los monos realizan la acción, sino también cuando ven al experimentador realizar una acción similar (Rizzolatti *et al*., 1996). Las neuronas que se comportan de este modo se llaman **neuronas especulares** (*véase* el Capítulo 8). Un subconjunto de dichas neuronas especulares también responde cuando la parte final de una acción observada, crucial para desencadenar la respuesta, está oculta, y, por lo tanto sólo puede deducirse (Umilta *et al*., 2001). Las neuronas especulares pueden jugar un papel clave en establecer puentes entre lo que se ve y lo que se planea realizar.

La prueba de que existen neuronas especulares en los seres humanos procede de varios estudios que utilizan diferentes técnicas. La primera de ellas, dirigida por Fadiga y sus colaboradores (1995), demostró mediante estimulación magnética transcraneal (EMT) que existe un aumento de la excitabilidad del sistema motor durante la percepción de acciones realizadas por otra persona. Este incremento es selectivo: se reflejó por actividad sólo en los músculos que los sujetos hubieran utilizado para producir la acción observada (*véase* también Fadiga *et al*., 2005). Se informó de evidencias convergentes en un estudio que utilizó EEG mientras los sujetos observaban películas de objetos en movimiento, de animales en acción y movimientos gimnásticos realizados por personas, al tiempo que fotografías estáticas de esos mismos acontecimientos (Cochin *et al*., 1999). Los resultados sugirieron la participación específica de la corteza sensitivomotora durante la observación del movimiento humano. Ciertos registros magnetoencefalográficos también han encontrado activación de la corteza motora (área M1) mientras se observa la acción (Hari *et al*., 1998). Estos hallazgos proporcionan pruebas de que las acciones propias y ajenas se codifican de forma similar en el cerebro. Como tales, forman los cimientos de un sistema en el cual no sólo podemos entender las acciones ajenas basándonos en la realización de nuestras propias acciones, sino que también podemos utilizar las acciones ajenas como base de nuestras futuras acciones.

Por otra parte, algunos investigadores han propuesto que esta base de representación compartida para las acciones propias y ajenas puede servir como un potente motor del desarrollo (Frye, 1991; Tomasello, 1999). Si los niños utilizan la información de sus propias acciones para entender las acciones de otros, se podría esperar que la capacidad de los niños para entender o interpretar una acción estuviera relacionada con su propia capacidad para realizar dicha acción. Para comprobar dicha hipótesis, Sommerville y Woodward (2005) examinaron cómo niños de 10 meses de edad respondían a una secuencia simple de tirones de ropa, en la cual un actor tiraba de una tela para alcanzar un juguete fuera de su alcance. Los investigadores estaban interesados en estudiar la relación entre la capacidad de los niños para resolver esta secuencia

de tirar de la tela realizada por ellos mismos y en su capacidad de interpretar la secuencia de tirar de la tela —esto es, de identificar el objetivo— cuando la realizaba otra persona. Los resultados mostraron que los niños que tuvieron más éxito en la generación de soluciones dirigidas al objetivo en su propia conducta de tirar de la tela fueron aquellos que reconocieron que las acciones del actor con la tela estaban de hecho dirigidas al último objetivo de la secuencia: el juguete. En contraste, los niños que utilizaban de forma infrecuente estrategias orientadas a objetivos para resolver la secuencia de tirar de la tela en su propia conducta parecían no entender el objetivo de la secuencia de acciones de otra persona. Análisis de seguimiento revelaron que ni la edad (una estimación del nivel de desarrollo) ni la capacidad de procesamiento de la información (una estimación de la inteligencia) podrían ser responsables de las diferencias entre los dos grupos en la interpretación de la acción.

En estudios subsecuentes, se ha demostrado que a los tres meses y medio de edad los niños detectan mejor un objetivo en las acciones de otras personas cuando ellos mismos tienen una experiencia propia (Sommerville *et al.*, 2005). Estos hallazgos dan apoyo a la idea de que los planes para las acciones y la percepción de las acciones de otros están conectados íntimamente, que comienzan en la infancia y que las capacidades del propio desarrollo de los niños para la acción les pueden proporcionar información importante sobre las acciones ajenas.

Sin embargo, debemos cerrar este apartado con una advertencia: al igual que no todas las simulaciones mentales se basan en procesos motores, tampoco toda la cognición sobre otras personas se basa en procesos motores. La cognición motora no puede revelar cada aspecto de la compleja telaraña de creencias y deseos que motivan a los seres humanos —tanto en nosotros mismos como en otros (para una revisión crítica, *véase* Jacob y Jeannerod, 2005).



***Control de comprensión***



1. ¿Cuales son las dos «vías de procesamiento» que podemos utilizar para imitar?, ¿cuáles son sus relaciones con los planes antes almacenados o los adquiridos recientemente?
2. ¿Qué son las neuronas especulares y por qué son importantes para entender la cognición motora?

## 4 Movimiento biológico

El papel de las neuronas especulares en la imitación sugiere que lo que percibimos está influido por cómo nos podemos mover. Si es así, nuestro sistema de cognición motora nos puede ayudar a ver pautas sutiles de movimiento, en concreto aquellas que señalan la presencia de otro organismo viviente que planifica e intenta llevar a cabo acciones específicas. Esta noción se basa en el hecho de que todos los animales, humanos y no humanos, producen pautas únicas de movimiento. Estas pautas, sin importar cuán distintas sean unas de otras, son todas diferentes del movimiento de los objetos inanimados y, por lo tanto, se las llama colectivamente **movimiento biológico**.

Como se ilustró en la narración inicial, ficción pero posible, la capacidad para percibir el movimiento biológico a partir de mínimas señales visuales puede significar la diferencia entre la vida y la muerte, y los seres humanos somos muy buenos en eso.

En este apartado veremos que los seres humanos somos sensibles al movimiento biológico, que podemos distinguir inmediatamente entre varios tipos de movimiento que son aparentemente muy similares y que —de forma crucial— nuestros mecanismos de cognición motora se activan cuando el movimiento percibido es uno que también puede ser realizado. Estos hallazgos son consistentes con nuestras conclusiones de la sección previa: las acciones son codificadas en una estructura común para la producción y la percepción, tanto respecto uno mismo como a otros.

Así pues, somos capaces de observar las acciones ajenas y de utilizar dicha información más tarde, cuando nosotros mismos estemos implicados en la cognición motora y en la simulación mental.

Éstas son las conclusiones que alcanzaremos en este apartado. Veamos ahora porqué se justifican estas conclusiones.

## 4.1. Percepción del movimiento biológico

Como para cualquier otro animal, nuestra supervivencia depende de la capacidad para identificar, interpretar y predecir las acciones de otras criaturas. La percepción del movimiento de los otros, en particular, juega un papel adaptativo crucial, importante para nuestros ancestros a distinguir entre presa y depredador, amigo y enemigo. Para servir este propósito, la capacidad de detectar el movimiento biológico debe ser rápida, precisa y automática.

Muchas evidencias conductuales demuestran que el sistema visual humano está ajustado en definitiva para la percepción de movimientos biológicos. El psicólogo sueco Gunnar Johansson (1973) desarrolló la «técnica de los puntos de luz» al añadir pequeñas fuentes de luz a las muñecas, rodillas, codos, hombros y cabezas de actores a los que se pedía que realizasen varios movimientos tales como andar, bailar y correr en la oscuridad (para un observador sólo eran visibles las luces en movimiento). Cuando se les pedía que describieran qué habían visto, los sujetos identificaban inmediatamente figuras humanas en movimiento y reconocían los diversos tipos de acciones que habían realizado los actores. Otros muchos grupos de investigación que han utilizado esta técnica han confirmado que la **pauta cinemática** —esto es, la pauta del movimiento— que surge de las luces en movimiento es suficiente para producir una impresión vívida e irresistible de los movimientos humanos, aún cuando la percepción se convierta en un revoltijo de luces sin significado cuando el actor se quedaba quieto (*véase* la Figura 11-9).

Por ejemplo, Kozlowski y Cutting (1977) mostraron que los observadores pueden hacer discriminaciones muy precisas cuando observan los puntos de luz, incluso reconocer el sexo de los actores. Es, incluso, más extraordinario que esta información visual sea suficiente para que los observadores se distingan a sí mismos de otras personas que les resultan familiares cuando han sido filmados al actuar como actores con puntos de luz. Sin embargo, cuando se presentaron las películas boca abajo, los observadores no informaron de haber visto ninguna figura humana en esa posición. Más aún, nuestra capacidad para detectar e identificar el movimiento biológico está influenciada por el tipo específico de acción que se realiza. Dittrich (1993) mostró a los sujetos acciones locomotoras (andar, subir escaleras), acciones instrumentales (marti-

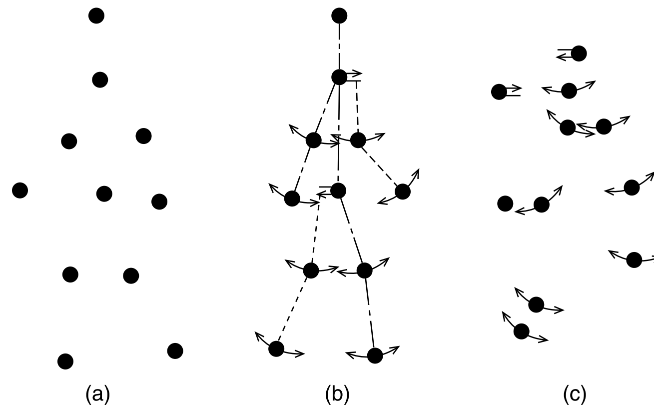



**FIGURA 11-9** Nuestra percepción de disposiciones de puntos de luz

(a) Esta disposición estática no suele percibirse como la representación de una forma humana. (b) Cuando la misma disposición se mueve de forma coherente, se percibe fácilmente como una persona andando. (c) Si el conjunto se mueve de una forma aleatoria, con frecuencia se percibe como un enjambre de abejas.
(Bertenthal, B. I., (1993). Perception of biomechanical motion in infants: intrinsic image and knowledge-based constraints. In Carnegie Symposium on cognition: visual perception and cognition in infancy. C. Granrud (ed.), pp. 174-214. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Reimpreso con autorización).

llear, agitar) y acciones sociales (felicitar, boxear). Los sujetos reconocieron las acciones locomotoras más rápidamente y de forma más exacta que las acciones sociales o las instrumentales.

Incluso los bebés son sensibles al movimiento biológico. Los investigadores han encontrado que niños tan pequeños como de tres meses prefieren mirar a una exhibición coherente de puntos de luz producida por una persona que anda en posición normal que a una exhibición de puntos de luz producida por una persona que anda boca abajo. Esto implica que los niños detectan la estructura de la exhibición (Bertenthal *et al.*, 1984). ¿Cómo es esto posible? Diversas limitaciones físicas permiten la percepción del movimiento biológico humano como algo distinto del movimiento de los objetos. Por ejemplo, la muñeca puede moverse hacia delante y hacia atrás, arriba y abajo en relación a la posición del codo, pero siempre se encuentra la distancia fija del codo. Bertenthal (1993) propuso que el conocimiento implícito de los niños de dichas limitaciones puede reflejar características físicas del sistema visual.

El desarrollo de la capacidad de los niños para detectar el movimiento biológico proporciona una señal intrigante de la operación sobre cómo planteamos nuestras acciones. Según se acaba de decir, los niños de tres meses discriminan entre un caminante con puntos de luz boca arriba y otro boca abajo tal y como lo hacen niños de más edad. Pero los niños de tres meses también discriminan entre un caminante con puntos de luz boca abajo y una pauta aleatoria de luces, mientras que los niños entre cinco y siete meses de edad no lo hacen. La interpretación de Bertenthal sobre este cambio es que a los cinco meses los niños responden a la familiaridad percibida en la exhibición; esto es, como un resultado de la experiencia y del conocimiento acumulado reconocen la exhibición boca arriba como a un caminante humano, mientras que perciben la figura invertida y la pauta aleatoria como equivalentes debido a que ambas son extrañas para su experiencia. A la edad de cinco meses, los niños responden a estos tipos de exhibición con un nivel de procesamiento más complejo, dado que el conocimiento anterior interactúa con la percepción.

Debido a que parece que la experiencia de la observación moldea el desarrollo de la percepción del movimiento biológico en los niños, una pregunta interesante es si la percepción del movimiento biológico está limitada por la experiencia de un observador acerca de su propia capacidad de movimiento. Un caso fascinante de estudio es el de A. Z. que nació sin extremidades (Brugger *et al.*, 2000). Se pidió a A. Z., que juzgara si lo que estaba viendo era un miembro derecho o izquierdo (una mano o un pie) presentado en una cierta variedad de ángulos de rotación. Los sujetos normales de referencia requirieron más tiempo cuando tuvieron que rotar sus propios miembros en mayor extensión para alinearlos con el miembro estímulo (realizando un tipo de rotación mental). A pesar de no haber tenido nunca miembros, los juicios perceptivos de A. Z. mostraron esas mismas limitaciones físicas. Esto es, parece que la percepción del movimiento biológico no depende de la experiencia motora *per se* y que su mecanismo central neural está estructurado físicamente.

## 4.2. Procesamiento del movimiento biológico

El rápido reconocimiento de unos cuantos puntos de luz en movimiento como representantes de la forma humana sugieren que el correcto agrupamiento de estos puntos de luz se consigue mediante una red neural específica. De hecho, los investigadores han informado de unos cuantos casos de pacientes con daño cerebral que no podían detectar el movimiento biológico pero que no tenían otro déficit importante, si es que tenían alguno (Schenk y Zhil, 1997). Existen informes de la disociación inversa, en la que la percepción del movimiento biológico está intacta mientras que otros tipos de percepción están dañadas (Vaina *et al.*, 1990). El paciente de este estudio sufría una incapacidad de discriminar diferentes velocidades del movimiento y requería mayor cantidad de información organizada de la normal para detectar el movimiento biológico, pero no tenía dificultades para reconocer otras actividades humanas distintas a la locomoción cuando se representaban mediante exhibición de puntos de luz.

Además, Pavlova y sus colaboradores (2003) han examinado la sensibilidad visual al movimiento biológico en adolescentes nacidos prematuramente que tenían leucomalacia periventricular (LPV). Este trastorno, un reblandecimiento de la sustancia blanca que rodea los ventrículos del cerebro (causado posiblemente por un flujo insuficiente de sangre al cerebro antes o durante el nacimiento) produce trastornos motores tempranos. Los investigadores encontraron en este grupo que cuanto mayor era la extensión de las lesiones de LPV en la región parieto-occipital, se era menos sensible al movimiento biológico. Estos hallazgos sugieren que la región parieto-occipital interviene en la detección del movimiento biológico.

Una evidencia más detallada procede de varios estudios de neuroimagen (RMf) que han identificado una región en la parte posterior del Surco Temporal Superior (STS) que se activa cuando se presentan a los sujetos paneles del tipo del de los puntos de luz de Johansson (véase la Figura 11-10 del Inserto a color P) (Grèzes *et al.*, 2001; Grossman y Blake, 2001; Howard, 1996). Dicha región se encuentra en la zona anterior y superior al área visual V5 (también llamada área TM) y está involucrada en la percepción del movimiento. Se ha hallado que otra región, en la parte anterior del surco intraparietal (parte del lóbulo parietal) en el hemisferio izquierdo, participa en la percepción de las acciones humanas reales (Grafton *et al.*, 1996; Grèzes *et al.*, 1998; Perani *et al.*, 2001). Coincidiendo con nuestra discusión anterior sobre la simulación mental, la mera imaginación del movimiento biológico basta para activar la re-

gión del STS, aunque la activación es más débil que durante la percepción real de las presentaciones de puntos de luz (Grossman y Blake, 2001). Cuando leíamos la historia del sabueso que saltaba sobre su pretendida víctima, esas palabras se tradujeron en representaciones del movimiento visual —y dichas representaciones se procesan en las áreas corticales dedicadas al procesamiento del movimiento observado.

## 4.3. Cognición motora en la percepción motora

Cuando leíamos la terrorífica experiencia de Watson, no confundimos sus movimientos con los del sabueso gigante. Nuestra capacidad para percibir el movimiento biológico va más allá de la mera distinción entre los movimientos de la gente y de los animales y los de los vehículos y las pelotas. En un estudio de niños de edades comprendidas entre 29 y 94 meses, los investigadores demostraron que diferentes áreas corticales participan en la percepción de movimientos humanos, animales y seres humanos virtuales (Martineau y Cochin, 2003). Además, los estudios con neuroimagen han revelado activaciones neurales que son específicas de las acciones humanas (tales como asir una jarra de café) y que dichas activaciones no se provocan mediante movimientos con propiedades visuales similares (Decety *et al.*, 1994; Perani *et al.*, 2001; Tai *et al.*, 2004). Consideremos ahora la cuestión clave: ¿Por qué percibimos el movimiento con tanta especificidad?

Los movimientos humanos son los únicos que producimos al igual que los percibimos. Nuestra anatomía nos impone limitaciones en las acciones que realizamos, las que a su vez restringen el modo en el que podemos imaginar y percibir la acción —y el modo en el que podemos imaginar las acciones juega un papel crucial en nuestra habilidad para planificar nuestras propias acciones. Así pues, a no ser que tengamos un conocimiento hípico particular no podemos ver inmediatamente qué es lo que está «equivocado» en el cuadro de la Figura 11-11. Se ha planteado la hipótesis de que nuestra percepción del movimiento humano en otros está mediatizado por el conocimiento *tácito* de cómo trabaja nuestro cuerpo; dicho conocimiento es realmente inconsciente —por lo general ni siquiera sabemos que lo tenemos. Dicho conocimiento juega un papel importante en guiar nuestras simulaciones mentales —al hacer que se conduzcan de un modo que imita a la realidad.

Una demostración irresistible de la implicación del conocimiento motor tácito en la detección de movimientos biológicos la proporcionan estudios que hacen uso del fenómeno del **movimiento aparente**, la ilusión creada cuando aparecen en una rápida sucesión estímulos visuales en localizaciones próximas entre sí. El movimiento aparente es el que hace que las luces parpadeantes de la marquesina de un teatro parezcan moverse alrededor del marco y que las dos luces que una señal de alarma parezcan ser una única luz que se mueve hacia delante y hacia atrás. Es lo que hace posible las películas y los libros de dibujos animados.

En una serie de ingeniosos estudios, Shiffrar y Freyd (1990) mostraron a los sujetos series alternativas de fotografías de un cuerpo humano en diferentes posturas. En una de las series, las posturas eran tales que las transiciones directas entre dos secuencias fotográficas correspondían a un posible movimiento. Las transiciones directas entre fotografías en otra secuencia violaban la «restricción de solidez» (el que un objeto sólido no puede atravesar otro objeto sólido) y, por lo tanto, eran imposibles. Cuando los sujetos vieron las dos series, el movimiento aparente que vieron entre dos



(a) (b)

**FIGURA 11-11** En las carreras

(a) *El Derby en Epsom* (1821), de Théodore Géricault. Un hermoso —y físicamente imposible— cuadro. En la realidad, el momento del galope de un caballo en el cual las cuatro patas están en el aire ocurre no cuando las patas están extendidas, sino cuando están recogidas bajo su cuerpo, como en (b), una fotografía del ganador del *Preakness*, en 2003.
(a) («*El Derby en Epsom*». Théodore Géricault (1821). Musée du Louvre, París).
(b) (Fotografía de Gary Hershorn. Cortesía de Corbis/Reuters America LLC).

secuencias fotográficas cambió según la cantidad de tiempo transcurrido entre la presentación de una fotografía y la de la siguiente. El tiempo transcurrido entre la llegada de los estímulos se llama *Asincronía de Aparición del Estímulo* o AAE. Cuando la AAE era breve, los sujetos dijeron que veían el transcurso del movimiento más corto —pero imposible—, mientras que al incrementar la AAE vieron el transcurso del movimiento de forma consistente con los movimientos humanos (véase la Figura 11-12). Es más probable que los caminos de las acciones biológicas se vean cuando la AAE coincide con el tiempo en el cual se puede realizar la acción en realidad. Por el contrario, cuando se mostró a los sujetos fotografías de objetos inanimados, éstos percibieron consistentemente el mismo corto transcurso del movimiento aparente, con independencia de la AAE (Shiffrar y Pinto, 2002).

Las investigaciones con neuroimagen confirman que las diferencias entre la percepción del movimiento de los objetos y el movimiento humano se deben al hecho de que hay una implicación directa de las áreas motoras en el movimiento humano, pero no en el movimiento de los objetos. En uno de dichos estudios se presentaron a los sujetos imágenes estáticas de un modelo humano en diferentes posiciones al igual que objetos en diferentes configuraciones espaciales (Stevens *et al*., 2000). Los miembros de cada pareja se presentaron en secuencia, de forma que una posición parecía desplazarse a la otra. Se solicitó a los sujetos que calificaran las trayectorias del movimiento percibido. Para el modelo humano, el movimiento percibido era tanto una trayectoria posible como una imposible. Los resultados indicaron que la corteza motora primaria izquierda, la corteza parietal de los dos hemisferios y el cerebelo se activaron específicamente cuando los sujetos percibieron trayectorias posibles de los movimientos humanos. Por contraposición, no se encontró activación selectiva de dichas áreas durante las condiciones de trayectorias imposibles para los movimientos. En vez de ello, el hecho de ver trayectorias de movimiento imposibles llevó a un gran incremento de actividad en la corteza prefrontal ventromedial, una región que los investi-

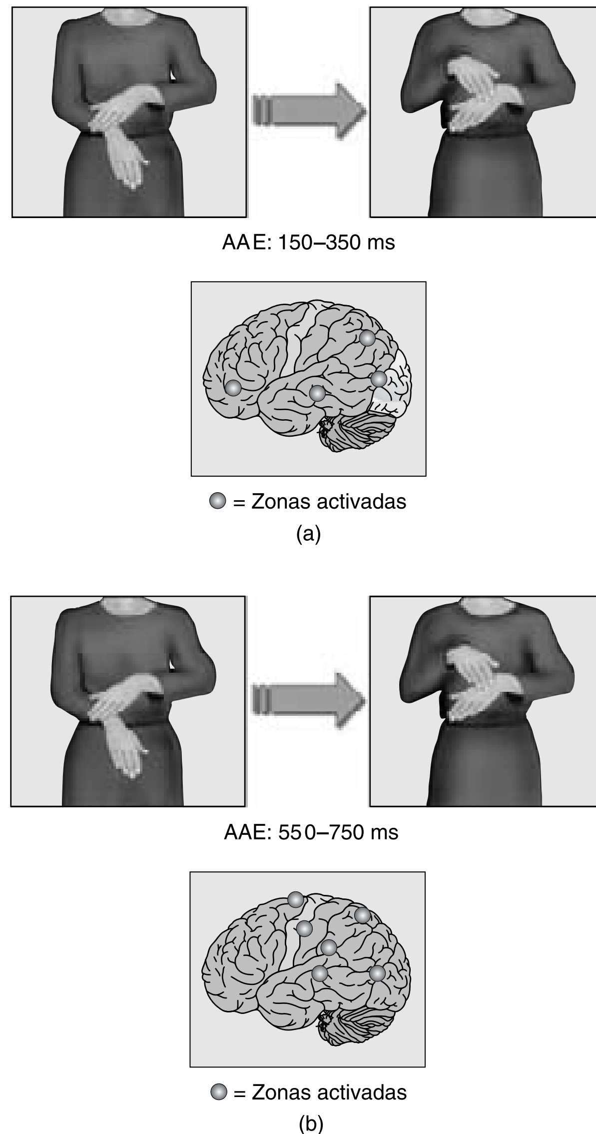



**FIGURA 11-12** El fenómeno del movimiento aparente

(a) Cuando el intervalo entre las presentaciones de estímulos (el AAE) es breve, se percibe una trayectoria directa —aunque físicamente imposible—: parece que las manos sólo cambian de posición. Se detectó activación en el lóbulo frontal, la circunvolución temporal media y la región posterior del lóbulo parietal. Con AAE más largos, se percibe una trayectoria indirecta (y posible), que se corresponde con los movimientos humanos. En este caso, se activan la corteza motora, la cisura temporal superior y la región inferior de la corteza parietal. (De «The Visual Analysis of Bodily Motion» (pp. 381-399), por M. Shiffrar y J. Pinto, en *Common Mechanisms in Perception and Action*, editado por W. Prinz y B. Hommel, (2002), New York; Oxford University Press. Copyright 2002 por Oxford University Press. Reimpreso con autorización).

gadores habían observado previamente, que se activaba cuando las personas intentan comprender pares de frases incoherentes (Ferstl y von Cramon, 2002) y conflictos sociales (Bechara *et al.*, 2000a).

Estos hallazgos aportan pruebas de que la percepción del movimiento humano aparente se basa no sólo en procesos visuales sino también en procesos motores, y asi-

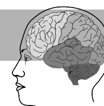
mismo que la percepción del movimiento de objetos y del movimiento humano se basa en diferentes redes neurales. Además, los resultados son coherentes con la idea discutida anteriormente: podemos entender las acciones ajenas en términos de nuestro propio sistema motor y el modo en el que podemos planificar nuestras propias acciones (Shiffrar y Pinto, 2002; Viviani, 2002).

Parece haber una contradicción entre los hallazgos de estudios de neuroimagen que utilizan presentaciones de puntos de luz y aquellos basados en el movimiento aparente. El reconocimiento del movimiento humano en las presentaciones de puntos de luz no está afectado por las regiones en las áreas de producción motora. Los estudios de neuroimagen han demostrado de forma consistente que la activación cerebral se restringe a la convergencia de los lóbulos temporo-occipito-parietal y a la cisura interparietal, no a las áreas motoras en sí mismas. Los estudios sobre el movimiento aparente, sin embargo, indican que la percepción de los movimientos biológicos está limitada por las capacidades motoras de los sujetos y las investigaciones de neuroimagen señalan que las áreas del cerebro implicadas en la producción de acciones motoras se activan durante el procesamiento visual de movimientos plausibles (Grézes y Decety, 2001; Stevens *et al*., 2000). ¿Cómo podemos conciliar este aparente conflicto?

La explicación de esta inconsistencia aparente puede estar en parte en el hecho de que los estudios que utilizan puntos de luz para investigar el movimiento biológico se basan con frecuencia en la detección de la *locomoción.* La locomoción tiene una significación evolutiva y funcional fundamental y su procesamiento neural es rápido y automático. Y, por dichas razones, el surco temporal superior por sí solo puede ser capaz de actuar como un detector, sin la implicación de otras áreas específicamente motoras. Por otro lado, los estudios que han investigado el movimiento aparente utilizan con frecuencia estímulos más complejos que, al contrario de las exhibiciones de puntos de luz, perfilan la silueta de un cuerpo humano y los movimientos que se muestran no se limitan a la locomoción. El procesamiento que se utiliza para dichos estímulos es por tanto más complejo que el que se utiliza para las presentaciones de puntos de luz.



## Control de comprensión



1. ¿Por qué la sensibilidad humana al movimiento biológico es importante para entender cómo razonamos sobre nuestras acciones?
2. ¿Qué tiene de especial nuestra percepción del movimiento biológico?

# Repaso y reflexión

1. *¿Cuál es la naturaleza de la cognición motora?*

   La cognición motora se basa en representaciones internas que se utilizan para planificar y predecir nuestras propias acciones, al igual que para anticipar y entender las acciones ajenas. Como tales, estas representaciones existen desde las primeras etapas de la vida y se elaboran mediante interacciones entre el yo y los otros, pudiéndose compartir entre individuos.

**Piense críticamente**

- ¿Cuál es el papel de la cognición motora en la planificación a largo plazo (por ejemplo, planeando unas vacaciones que tendrá dentro de tres meses)?
- Existen restricciones en la cognición motora y en la planificación que se corresponden con el modo en el cual está construido el cuerpo humano. Sin embargo, los hallazgos de las investigaciones sugieren que incluso las personas con cuerpos fuera de lo normal incorporan estas limitaciones en su percepción de la acción. Si éste es el caso, ¿cuál es el papel del aprendizaje o de la experiencia en la cognición motora?

2. *¿Qué es una simulación mental de la acción?*

   Podemos crear y hacer funcionar programas motores y «observar» cómo afectan a las imágenes mentales. Podemos hacer funcionar dichas simulaciones mentales para conseguir un determinado objetivo, o en un intento de entender las acciones de otra persona. No obstante, en algunos casos las simulaciones mentales no están guiadas por la información motora, sino por la información perceptiva y conceptual.

   **Piense críticamente**

   - ¿Qué tipos de problemas se resuelven mejor con simulaciones mentales?, ¿qué tipos de problemas son habitualmente difíciles de resolver con simulaciones mentales?
   - ¿Todas las cogniciones motoras implican simulaciones mentales? (Pista: somos conscientes de tener imágenes mentales —¿somos conscientes de todas las cogniciones motoras?)

3. *¿Por qué y cómo reproducimos las acciones de otro?*

   Las representaciones mentales que se utilizan en la cognición motora se basan en parte en nuestras observaciones de los otros. La capacidad de imitar existe desde etapas muy tempranas de la vida y juega un importante papel en la comprensión de los otros. Existen numerosas pruebas a favor de que la imitación implica algo más que la mera reproducción de una conducta observada, más bien se deducen las intenciones y los objetivos de los otros. Cuando más tarde se planifica la acción para conseguir los mismos objetivos, se pueden utilizar una serie de posibles acciones.

   **Piense críticamente**

   - ¿El hecho de que los seres humanos seamos capaces de imitar implica que nunca hagamos mímica?, ¿cuál es la relación entre el *priming* motor y la mímica?
   - ¿Qué clases de planes pueden no implicar acciones?, ¿existe algún tipo de planes que, en principio, nunca conduzcan a una acción?

4. *¿Cuál es el papel de la cognición motora en la percepción?*

   La cognición motora no sólo depende en parte de la representación creada durante la percepción, sino que, de hecho, también afecta al caso de que se realicen otras formas de percepción. El cerebro ha desarrollado mecanismos neurales específicos que detectan y procesan el movimiento de otros animales, incluyendo a los seres humanos. Además, las acciones humanas se procesan de forma diferente que otros tipos de movimientos biológicos. El sistema motor juega un papel decisivo cuando percibimos acciones que podemos producir, lo que nos hace más fá-

cil usar los recuerdos de acciones observadas previamente para producir nuestras propias acciones en el futuro.

**Piense críticamente**

- Si una capacidad es innata, ¿significa esto que el aprendizaje no juega papel alguno? Si el aprendizaje juega un papel en la detección y procesamiento del movimiento biológico, ¿qué papel es éste?
- Si estuviéramos paralizados temporalmente, ¿podríamos seguir percibiendo acciones aunque no pudiéramos realizarlas? Si así fuera, ¿iría esto en contra de la idea de que el sistema motor se activa cuando percibimos acciones?

# Lenguaje

CAPÍTULO 12

## Objetivos de aprendizaje

La acera está llena de gente que se mueve a empujones, la calle congestionada con el tráfico de coches y camiones de mediodía. En la multitud vislumbramos a una amiga que hace tiempo que no vemos, la saludamos y la alcanzamos. Viste una camiseta (no es su estilo) en la que están impresas las palabras «El cerdo feliz» y la caricatura de un cerdito vestido con un mandil y que lleva una cesta de comida. Preguntamos por esa frase. «¡Oh, es donde trabajo ahora!», dice. «Es, bien, un... un, tipo de sitio de comida asiática en general. Tienen unos estupendos fideos de sésamo absolutamente alucinantes». Un autobús ruge durante la última parte de esta frase y no escuchamos las últimas palabras de nuestra amiga, pero de alguna manera entendemos. «¿Dónde está ese sitio?» gritamos, según se acerca otro autobús. «Está en la esquina de...» Otra vez, no podemos escucharla y en esta ocasión no tenemos ni idea de lo que ha dicho. Nuestra amiga pesca una copia del menú en su mochila y nos muestra la dirección impresa en él. «Estupendo, lo probaré» decimos según nos arrastra la multitud.

Desde los días de nuestra educación más temprana, leer o escuchar una frase y comprender su significado ha sido habitualmente algo realizado sin esfuerzo y esencialmente instantáneo. (¡La apreciación completa de los conceptos subyacentes puede, por supuesto, suponer más dificultades!). Como oyentes y lectores experimentados que somos ahora, nos resultará difícil volver a captar el sentido del esfuerzo que nos pudo haber supuesto cuando éramos unos niños. De hecho, la producción y la comprensión del lenguaje son actividades enormemente complejas. En este capítulo responderemos a las siguientes cuestiones:

**1.** ¿Cuáles son los diferentes niveles de representación del lenguaje y cómo encajan unos con otros?
**2.** ¿Cómo progresa la comprensión del lenguaje en estos diferentes niveles?
**3.** ¿Cuáles son las semejanzas y diferencias en los procesos de comprensión respecto al lenguaje hablado y a la lectura, y cuáles son las semejanzas y diferencias en los procesos de comprensión en cuanto a las palabras y las frases?
**4.** ¿Cómo planifican y producen el lenguaje quienes utilizan el lenguaje?
**5.** ¿Cuál es la relación entre lenguaje y pensamiento?

# 1 Naturaleza del lenguaje

Siempre que se lee o se escucha una frase, nos centramos en su significado y lo relacionamos con la información almacenada en nuestra memoria a largo plazo. A pesar de la facilidad con la que realizamos esto, los procesos cognitivos que se realizan para entender el significado de la frase son realmente muy complicados. La disciplina que explora la comprensión del lenguaje y los procesos mentales que subyacen, es la **psicolingüística**, el estudio de la comprensión, la producción y la adquisición del lenguaje. Tal y como su nombre sugiere, el campo se vale tanto de la psicología como de la lingüística, del estudio del lenguaje y las estructuras del lenguaje.

## 1.1. Niveles de representación del lenguaje

Cada frase u oración que se escucha o se lee se compone de muchos tipos diferentes de información, entre ellas los sonidos de las letras, las sílabas, las palabras y las frases. Estos elementos de lenguaje encajan unos con otros como en un *puzzle* de tal forma que los muchos componentes contribuyen al significado general de la frase. Los investigadores del lenguaje se refieren a los elementos como a diferentes *niveles* de la representación del lenguaje, y todos ellos juntos conforman la gramática del lenguaje. El término *gramática* sugiere con frecuencia reglas de utilización basadas en ideas tales como las *partes del discurso*. Los lingüistas y los psicolingüistas utilizan el término de diferente modo. Utilizan el término **gramática** para referirse a la suma del conocimiento que tiene cada uno acerca de la estructura de su propio lenguaje. Gran parte de este conocimiento gramatical es inconsciente, pero en él se basa nuestra capacidad de hablar y comprender un lenguaje con facilidad. La Figura 12-1 presenta un esquema de los diferentes niveles de representación del lenguaje en los que se basa la capacidad de entender la frase «El *chef* quemó los fideos».

En la parte superior del diagrama se encuentra el nivel de **discurso**, que se refiere a un grupo coherente de frases escritas o habladas. Este nivel representa mentalmente el significado de la frase completa, más allá del significado de cada una de las palabras individuales. En la frase «El *chef* quemó los fideos», una parte importante de la representación del discurso es que el «*chef*» es el agente que realiza la acción y que los «fideos» son las cosas sobre las que se actúa. Un modo de entender dicha relación es a través de **proposiciones**, afirmaciones que se hacen en las cláusulas de la frase (Kintsch, 1998) y que se representa esquemáticamente como *quemar (chef, fideos)* en la Figura 12-1. Una representación de la proposición (según se muestra también en la Figura 1-4) relata de forma concisa la acción, quién la realiza y sobre qué se está actuando. Una parte fundamental de la comprensión del lenguaje es llegar a este entendimiento básico de quién hizo qué a quién. La representación del discurso también relaciona el significado de la frase con el contexto en el cual ocurre (la conversación que estamos manteniendo o el texto que estamos leyendo) y con la información en la memoria a largo plazo. Esta ligazón nos permite relacionar la información contenida en la frase con un conocimiento anterior («los fideos también estaban quemados en la última ocasión en la que comí aquí») y generar deducciones («Hmm... ¡debería probar otro restaurante!»).

Por debajo del nivel del discurso del diagrama, se encuentra el nivel de la **sintaxis**, que especifica las relaciones entre los tipos de palabras en una frase (tal como entre

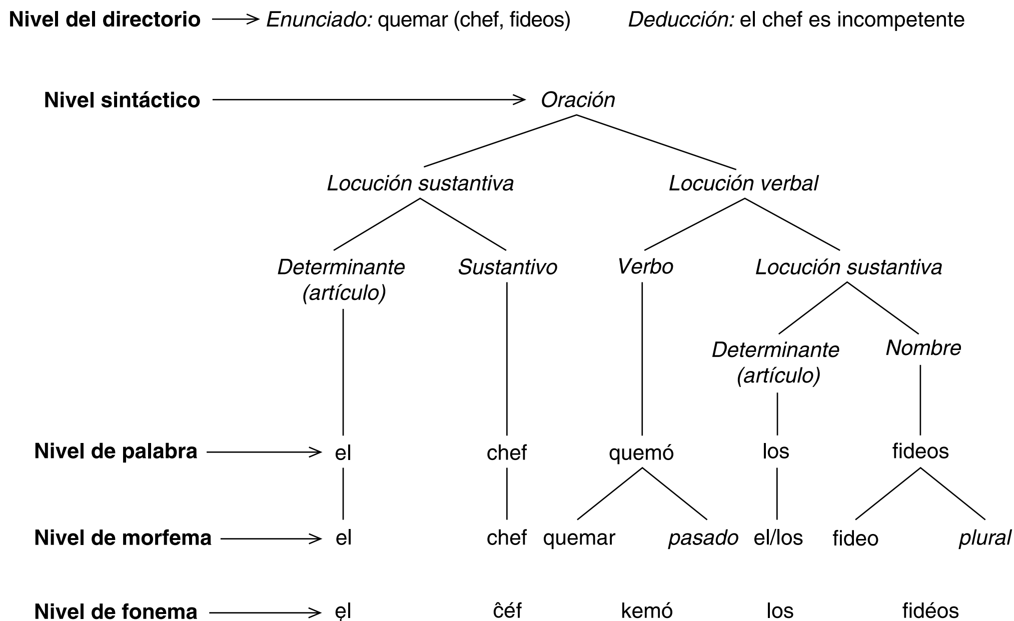



**FIGURA 12-1** Diferentes niveles de representación del lenguaje

Aquí se muestran los diferentes niveles de representación para la oración «El *chef* quemó los fideos» y las relaciones entre ellos; este sistema de anotación se conoce como árbol de estructura de la frase.

los sustantivos y los verbos); la sintaxis es el modo de representar la estructura de la frase y muchos psicólogos y lingüistas creen que es, también, parte de nuestra representación mental de la frase. En esta ocasión, la frase se compone de un sujeto («El *chef*»), que en el mapa del nivel del discurso actúa en el papel de actor de la acción; de un verbo («quemó») que describe la acción; y de otro sustantivo («los fideos») que actúa como el objeto directo en el papel de la cosa sobre la que se actúa. Un modo estándar de representar la sintaxis de una frase es el **árbol de estructura de la frase**, un diagrama de la frase que ilustra su estructura lineal y jerárquica (véase la Figura 12-1). Un árbol de estructura de la frase es un modo conveniente de hablar sobre los diferentes componentes de la frase, pero es mucho más que eso. Muchos lingüistas y psicolingüistas creen que en el proceso de entender una frase, construimos representaciones mentales de los árboles de la representación jerárquica de las relaciones entre las palabras, y que este proceso es un paso clave en la determinación del significado de la frase. Es en el nivel de la sintaxis donde el orden de las palabras relacionará la información del discurso con el «agente de la acción». Por ejemplo, las dos frases siguientes: «*El chef quemó los fideos*» y «*Los fideos fueron quemados por el chef*» tienen el *chef* como agente de la acción en el nivel del discurso, pero la sintaxis de las dos frases es diferente.

Un llamativo ejemplo de la importancia del nivel sintáctico en la comprensión del lenguaje lo aportan los estudios de pacientes con daño cerebral. Los pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular u otro daño que afecta a regiones del (habitualmente) hemisferio derecho del cerebro pueden padecer **afasia**, una alteración de lenguaje o del habla (debe su nombre al término griego que significa «sin habla»). La afasia se manifiesta de muchas formas diferentes. Una de ellas, que afecta al nivel sintáctico de la representación, se denomina **afasia no fluida** o **afasia de Broca,** así lla-

mada en honor del médico francés Paul Broca (1824-1880), que fue el primero en describir a un paciente con afasia que tenía una lesión en el área frontal izquierda del cerebro, ahora conocida como el área de Broca. Esta región se representa en la Figura 12-2, donde también se muestran otras áreas que juegan un papel clave en el lenguaje. La hipótesis de Broca era que la región que ahora lleva su nombre era la localización de las representaciones del lenguaje en el cerebro. Ahora sabemos que otras muchas áreas son importantes para el lenguaje y que el síndrome comportamental llamado afasia de Broca no siempre se relaciona con lesión del área de Broca, pero los nombres de *área de Broca* y *afasia de Broca* persisten, en parte para honrar a este pionero que captó la relación entre cerebro y lenguaje.

Los pacientes con afasia de Broca tienen dificultades para relacionar el discurso y los niveles sintácticos de representación. Así, pueden tener graves problemas para distinguir los significados de *«El chef quemó los fideos», «Los fideos quemaron al chef» y «Los fideos fueron quemados por el chef»*. Su problema no está en el significado de las palabras individuales —por lo general, estos pacientes siguen sabiendo el significado de palabras tales como *chef* y *fideos*—, sino en la relación entre ellas en la frase. Debido a que su conocimiento sobre cómo funciona el mundo está afectado, tienden a interpretar *todas* estas frases de acuerdo a la combinación más probable de las palabras *chef*, *fideos* y *quemado* y, por lo tanto, interpretan las tres frases como si significaran que el *chef* quemó los fideos. La alteración del lenguaje que sufren estos pacientes pone de relieve una característica importante de la sintaxis: que la recombinación

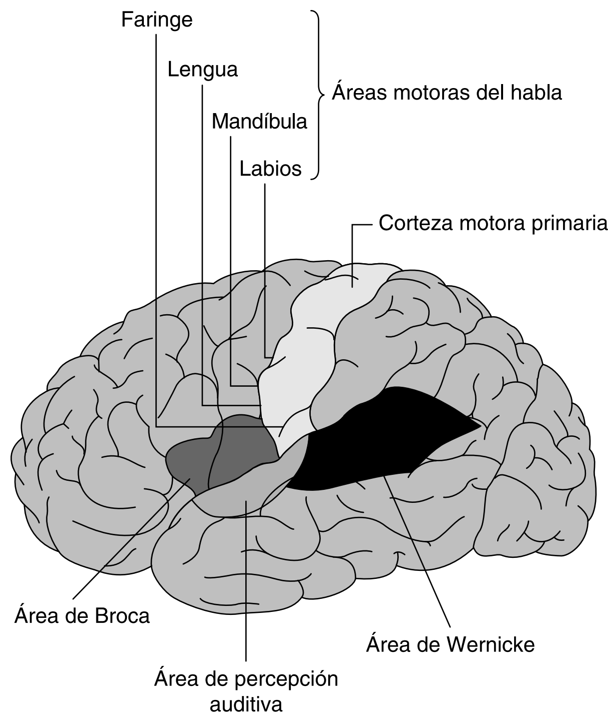



**FIGURA 12-2** Áreas clave del cerebro en el control del lenguaje

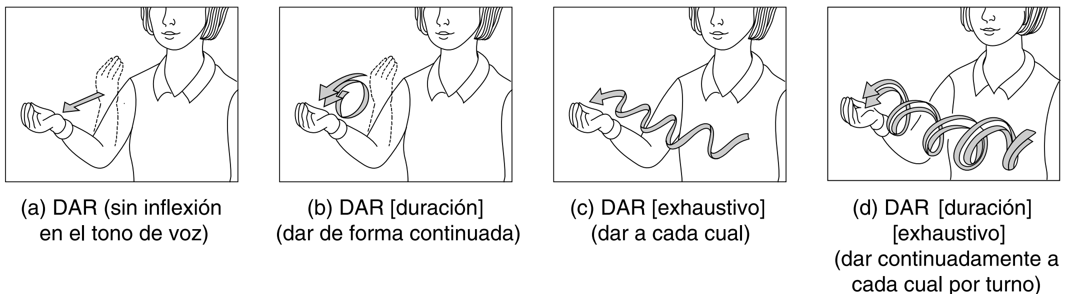
Las áreas de Broca y Wernicke se llaman así en honor de dos neurólogos del siglo XIX que describieron las alteraciones del lenguaje en pacientes con lesión de la región correspondiente. También se indican las áreas de la corteza motora que envían información a estructuras importantes en la producción del habla, como el área de percepción auditiva, donde se percibe el habla.

de las palabras puede dar lugar a frases con significados diferentes —en ocasiones incluso con significados inesperados, tal como en «*Los fideos quemaron al chef*»—.

Si pasamos al siguiente nivel en el diagrama de la Figura 12-1, debajo del sintáctico se encuentran los niveles de *palabra* y *morfema*. Estos niveles codifican el significado de las palabras: por ejemplo, chef se refiere a alguien «con capacitación para cocinar comida». Los **morfemas,** los bloques de construcción de las palabras, son las menores unidades significativas en un lenguaje. Algunas palabras, tal como *el* y *chef*, están compuestas por un solo morfema, mientras que otras se construyen con varios morfemas. *Fideos*, por ejemplo, está compuesto por dos morfemas, el morfema *fideo* más el morfema plural, que habitualmente escribimos como una s; la palabra quemado (*burned* en el original) también está compuesta de dos morfemas, *quem* (*burn* en el original) y el morfema que indica el tiempo pasado -ado (que en inglés se escribe habitualmente -ed).

Comparado con otras muchas lenguas, el inglés tiene un sistema morfológico muy simple y muy pocos morfemas, como pueden ser las formas de plural y de pasado, que se añaden a otros morfemas (que reciben el nombre de morfemas ligados). Un ejemplo de un lenguaje con una morfología mucho más rica es el Lenguaje de Señas Americano (LSA), el lenguaje que utilizan habitualmente los sordos en los Estados Unidos. La Figura 12-3 muestra el verbo cuyo significado en LSA es *dar* en su estado básico (equivalente al infinitivo del verbo en inglés) así como el mismo verbo con diferentes morfemas ligados añadidos. Los morfemas ligados cambian la trayectoria del gesto que se utiliza para señalizar el verbo y, como se puede ver en el último ejemplo de esta figura, varios morfemas ligados se pueden combinar durante la gesticulación del verbo.

Al igual que es útil clasificar los morfemas como libres o ligados, también lo es distinguir los morfemas que transmiten una gran cantidad de significado de aquellos que tienen relativamente menos significado, pero conducen relativamente más información sobre la estructura de la frase. Los morfemas tales como *chef* y *quemar (burn),* que tienen significado, pero que no indican mucho sobre la estructura de la frase, se denominan **morfemas con contenido**. Por otro lado, las **palabras funcionales** y los **morfemas funcionales** tales como *el* (*the)* y la terminación de pasado *-ado*, (en el original, *-ed)*, tienen menos significado pero transmiten una cantidad relativamente



(a) DAR (sin inflexión en el tono de voz)

(b) DAR [duración] (dar de forma continuada)

(c) DAR [exhaustivo] (dar a cada cual)

(d) DAR [duración] [exhaustivo] (dar continuadamente a cada cual por turno)

**FIGURA 12-3** El lenguaje de señas americano tiene una rica morfología

(a) La forma sin inflexión del verbo inglés *give* (dar), sin ningún morfema ligado. (b) Si se añade un morfema *de duración*, se obtiene el significado de *dar continuadamente*. (c) Añadiendo un morfema *exhaustivo* se consigue el significado *dar por turnos*. (d) La adición de estos dos morfemas produce el significado de *dar continuadamente por turnos*.

(Basado en *What the Hands Reveal About the Brain*, por H. Poivner, E. S. Klima y U. Bellugi, MIT Press, 1987. © 1987 por el *Massachusetts Institute of Technology*. Reimpreso con autorización).

grande de información sobre las relaciones entre las palabras y sobre la estructura sintáctica de la frase. Por ejemplo, *el,* señaliza que se aproxima un sustantivo, y el morfema de pasado *-ado,* indica que, en esta frase, la palabra *burn* es un verbo. (*N. del T.:* En inglés, *burn* también puede ser un sustantivo). Los morfemas funcionales (algunos de los cuales están ligados y otros son libres) relacionan los niveles de la palabra y la sintaxis. Es interesante saber que los pacientes con afasia de Broca, que tienen dificultades con la sintaxis, tienen también dificultades para percibir y producir los morfemas funcionales. El habla de los pacientes con afasia de Broca es entrecortada y contiene habitualmente muy pocas palabras o morfemas funcionales. Por ejemplo, cuando se les pide que describan la escena que se muestra la Figura 12-4, un paciente con afasia de Broca diría «niño... galleta... cae... cogiendo... galleta» (Goodglass y Geschwind, 1976). El único morfema funcional en esta frase es el sufijo -iendo en el verbo; las otras palabras funcionales, tales como *un* y *la,* se han omitido.

En contraposición, los pacientes con **afasia de Wernicke**, también conocida como **afasia fluida**, presentan un conjunto de problemas muy diferente, que se dan a nivel de la palabra y del morfema. Este tipo de afasia a menudo se debe a una lesión en el área de Wernicke, que también se representa en la Figura 12-2, la cual debe su nombre a Carl Wernicke (1848-1904), neurólogo y psiquiatra germano-polaco que describió a un paciente con una lesión en dicha área.

Los pacientes con afasia de Wernicke por lo general utilizan bien los morfemas funcionales y su habla es habitualmente buena, con los sustantivos, verbos y otras partes del discurso situados generalmente de forma correcta en la frase. Pero estos pacientes no pueden producir nunca más morfemas de contenido correctamente y el discurso resultante frecuentemente no tiene sentido. En este ejemplo, un paciente está intentando describir el dibujo que se muestra en la Figura 12-4: «Bueno..., esto es..., la madre está fuera aquí trabajando su trabajo allí fuera para conseguirla mejor, pero está mirando en la otra parte. Uno de sus pequeños baldosa hacia su tiempo aquí.

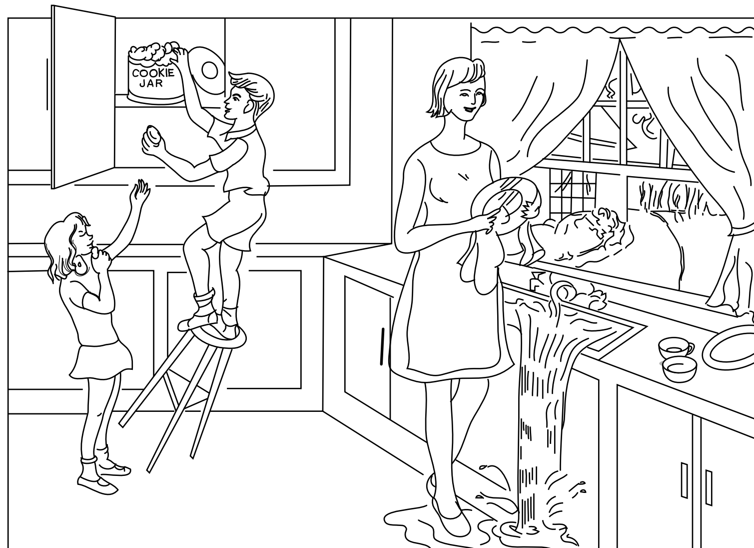



**FIGURA 12-4** La lámina del «ladrón de galletas»

Este dibujo suele presentarse a los pacientes con afasia para que lo describan debido a que su rica mezcla de personajes, objetos, acciones y desastres proporciona la oportunidad de tipos de descripciones muy diferentes.

Ella trabajando otra vez debido a que ella está consiguiendo, también» (Goddglass y Geschwind, 1976). Los pacientes con afasia de Wernicke también tienen gran dificultad para comprender los morfemas de contenido, con el resultado de que con frecuencia comprenden muy poco lo que se les dice.

La distinción entre la afasia de Broca y la de Wernicke presenta dos puntos importantes sobre cómo está organizado el lenguaje. En primer lugar, las diferencias entre las deficiencias de los dos tipos de pacientes hacen énfasis en los distintos niveles de cómo se representa mentalmente el lenguaje en el cerebro y demuestran cómo diferentes niveles se pueden ver afectados en diferentes grados. En segundo lugar, la naturaleza de las deficiencias de los pacientes, muestran el grado en el cual dichos niveles están interconectados: los problemas en un nivel, tales como el trastorno de los morfemas funcionales que sufren los pacientes con afasia de Broca, pueden contribuir a dificultades en otros niveles, tales como interpretar la sintaxis de las frases —lo que puede conducir a dificultades en la comprensión del significado de la frase—.

Volvamos una vez más a la Figura 12-1. El último nivel del diagrama muestra los **fonemas**, las más pequeñas unidades distinguibles del sonido del habla que dan lugar a los morfemas en una lengua determinada. La ortografía no es un sistema lo suficientemente preciso como para representar los sonidos del habla debido a un número de razones. Para empezar, los sistemas escritos varían en los diferentes lenguajes (pensemos en una página del mismo texto escrita en ruso, chino, inglés, hindi y árabe); además, las reglas ortográficas en muchos lenguajes tienen un determinado número de excepciones que no afectan a la pronunciación (pensemos en *aya, halla y haya o en vaca y baca*) y, además, incluso los hablantes nativos de un mismo lenguaje pueden pronunciar las palabras de forma diferente. La solución es un alfabeto de símbolos para los sonidos del habla —un **alfabeto fonético**— en el cual se puedan representar los sonidos del habla de todos los lenguajes, independientemente de cómo se deletrean en cualquier palabra o sistema de escritura. Éstos son los símbolos que se utilizan para representar los fonemas, como en la Figura 12-1; podemos estar familiarizados con algunos de ellos por haber estudiado una lengua extranjera o haber ensayado una obra teatral (muchos profesores de dialéctica utilizan el alfabeto fonético para ayudar a los actores a perfeccionar un acento), o por las claves de pronunciación que aparecen en un diccionario estándar.

Al igual que los árboles de la estructura de la frase, los fonemas proporcionan una anotación útil; también ellos conducen a otra afirmación sobre cómo se representa mentalmente el lenguaje. Muchos investigadores del lenguaje opinan que nuestro conocimiento sobre las palabras incluye representaciones de sus fonemas. Esto es, mientras que somos conscientes de descomponer una palabra en letras para deletrearla, también representamos inconscientemente las palabras en términos de fonemas.

Los pacientes con afasia de Broca son otra prueba de cómo muchos de estos diferentes niveles del lenguaje se relacionan unos con otros. Hemos visto que la afasia de Broca se asocia con una comprensión y producción deficientes de la sintaxis y también con una comprensión y producción ejemplo de los morfemas funcionales. Algunos investigadores relacionan estas deficiencias con el nivel del fonema, indicando que la afasia de Broca puede también incluir alteraciones de la *percepción* de los morfemas funcionales. En un estudio se recitaron pares de palabras a pacientes de la afasia de Broca (Bird *et al*., 2003). Algunos de ellos, tales como *pray* (rezo) y *prayed* (rezado) eran idénticos con excepción de que el segundo miembro de la pareja contenía el morfema indicativo del tiempo pasado -ed (en inglés). En el alfabeto fonético se re-

presentan como [prey] y [preyd]. Otras parejas como *tray (bandeja)* y *trade (comercio)* (en el alfabeto fonético [trey] y [treyd] también suenan de forma muy similar, pero eran dos palabras diferentes con significados no relacionados). Se preguntó a los pacientes si para cada pareja habían escuchado dos palabras diferentes o la misma palabra dicha dos veces. Los pacientes tuvieron grandes dificultades para escuchar la diferencia entre *pray* y *prayed;* muy frecuentemente, cuando escucharon dichas parejas, pensaron que la misma palabra se había repetido. Asimismo, los pacientes les costaba distinguir *tray* de *trade*. La dificultad de los pacientes aparenta estar específicamente relacionada con una pobre percepción y comprensión de ciertas secuencias de sonidos del habla, lo que a su vez puede conducir a una pobre comprensión de los morfemas funcionales y, por lo tanto, a problemas en la interpretación de la sintaxis y, por último, en la comprensión del significado de la frase. La cuestión no es simplemente que los pacientes de Broca tengan dificultades para percibir el habla, sino que las representaciones del lenguaje están interrelacionadas y los fallos en un nivel tienen consecuencias que se extienden a través del sistema de lenguaje.

## 1.2. Lenguaje frente a comunicación animal

Existen en el mundo más de 5.000 lenguajes humanos, que representan una inmensa reserva de fonemas, morfemas, palabras y sintaxis. En toda esta variedad, ¿qué es lo que los lenguajes humanos comparten y de lo que carecen los sistemas de comunicación de otros animales? Responder a esta cuestión sería un paso importante en la búsqueda de la definición de lo que significa ser un ser humano. Muchos animales que viven en grupos sociales, incluidos los pájaros cantores, muchas especies de monos y las abejas, tienen complejos sistemas de comunicación. El lingüista americano Charles Hockett (1916-2000) comparó los sistemas de comunicación animal y los lenguajes humanos e identificó un cierto número de características clave y únicas de los lenguajes humanos (Hockett, 1960). Éstas incluían **dualidad de patrón**, es decir, la característica de que unidades *con significado* tales como morfemas estén formadas por unidades *sin significado* tales como los fonemas, que se pueden recombinar una y otra vez para formar diferentes palabras. Por ejemplo los fonemas [t], [k] y [ae] (ae es el símbolo fonético para el sonido corto de la a) se pueden disponer de diferentes modos para construir tres diferentes palabras en inglés: [kaet], [aekt] y [taek] (deletreadas como *cat, act* y *tack*). Los sistemas de comunicación animal, tales como las llamadas de alarma entre los monos cercopitecos verdes, no tienen la dualidad de patrón, los cercopitecos tienen una llamada para el leopardo y otra para el águila, pero no pueden recombinar los sonidos de las llamadas para hacer otras nuevas.

Otra característica importante del lenguaje es su **arbitrariedad;** en general la relación entre el sonido (u ortografía) de una palabra y su significado no es predecible. No existe nada en el sonido [kaet] (*cat*) que signifique intrínsecamente un felino —la palabra no suena como un gato o se parece a un gato y el hecho de que usemos [kaet] para indicar a un pequeño mamífero con bigotes y que ronronea, es un accidente en la historia del idioma inglés—.

Posiblemente, la característica más importante del lenguaje humano es su **capacidad generativa:** los seres humanos podemos recombinar morfemas, palabras y frases para conducir un número potencialmente infinito de pensamientos. La camiseta de nuestra amiga camarera tenía un dibujo que nos describimos a nosotros mismos como *caricaturesco*, una combinación de los morfemas *caricatur* y un sufijo *esco* que

significa con frecuencia «parecido». Incluso si no hemos visto o escuchado esta combinación anteriormente, nuestra propia capacidad generativa nos permitirá crearla. Si tuviéramos que escribir sobre este encuentro, al describir el dibujo como «caricaturesco», la capacidad generativa de nuestros lectores para entender nuevas combinaciones de morfemas les podría ayudar a determinar el significado que se pretende.

De igual modo, las palabras se pueden combinar una y otra vez para construir una variedad de frases sin fin. Un componente importante de esta capacidad generativa de la sintaxis es la **recurrencia**, esto es, la inclusión de fragmentos de una frase (o de una frase completa) dentro de otros fragmentos o frases. La Figura 12-5 muestra la estructura sintáctica de una frase recurrente, en la cual la proposición relativa *a quien el director contrató ayer* está incluida dentro de la frase simple *El chef quemó los fideos*. Aunque habitualmente hacemos nuestras frases realmente cortas, el uso de la recurrencia nos proporciona la habilidad de hacer frases que tienen muchas inclusiones y que pueden ser, en principio, indefinidamente largas. Por ejemplo, podríamos fácilmente seguir añadiendo proposiciones al final de una frase tal como en: *El chef quemó los fideos que se habían hecho con el trigo que había crecido en la granja que se encuentra en la colina que está cerca del bosque que...*

La característica de recurrencia ha jugado un papel importante no sólo en psicolingüística sino también de una forma general en el desarrollo de la Psicología cognitiva. Los conductistas, en particular B. F. Skinner, sugirieron que la sintaxis de las frases podría ser descrita como una cadena de asociaciones desde una palabra a la siguiente. Skinner sugirió que los principios conductistas tales como el condicionamiento operante podrían explicar cómo los niños aprenden el lenguaje al ser reforzados por un habla similar al de los adultos. El lingüista Noam Chomsky (1959) criticó enérgicamente el enfoque conductista del lenguaje, argumentando que la propiedad de la recurrencia no se puede captar por ninguna cadena de asociaciones. Por ejemplo, en la frase *Cualquier chef que queme los fideos será despedido*, el verbo *será* y su sujeto (*chef*) no son adyacentes porque existe en medio una proposición in-

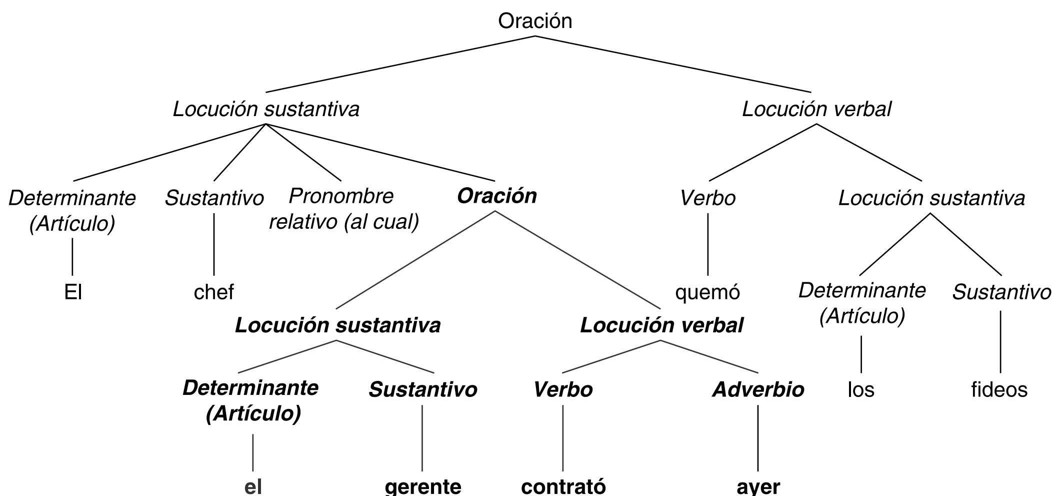



**FIGURA 12-5** Un ejemplo de recurrencia

La estructura sintáctica de la oración «*El chef al cual contrató ayer el gerente, quemó los fideos*». Esta frase es un ejemplo de *recurrencia*, la inclusión de fragmentos de una frase dentro de otros fragmentos o frases. En este ejemplo la parte incluida se presenta en negrita.

clusa relativa a los fideos quemados. Una simple cadena de asociaciones entre palabras o frases adyacentes podría asociar incorrectamente el sustantivo *fideos* con *será* antes que con el sujeto real, el *chef*. La opinión de Chomsky acerca de que la explicación conductista es inherentemente incapaz de explicar las capacidades lingüísticas de los seres humanos, fue un paso crucial en el rechazo del enfoque conductista de todos los aspectos de las capacidades humanas. (Sin embargo, como se explicó en el Capítulo 8, el condicionamiento operante no explica algunos aspectos del aprendizaje emocional).

Aun cuando los sistemas de comunicación de animales no humanos muy inteligentes no tienen las propiedades que Hockett observó en las lenguas humanas, un número de investigadores se han preguntado si los chimpancés podrían aprender un sistema de lenguaje si les fuera enseñado. Debido a que el **tracto vocal** del chimpancé (las partes de la anatomía necesarias para producir sonidos, incluidas las cuerdas vocales, la boca y la nariz) es incapaz de realizar la mayoría de los sonidos del habla humana, los investigadores han enseñado a los chimpancés un lenguaje de señas (Gardner y Gardner, 1969; Terrace, 1979) o sistemas de comunicación que utilizan formas en teclados de ordenador (Savage-Rumbaugh *et al*., 1986). Los investigadores encontraron que los chimpancés eran buenos utilizando símbolos o señas para pedir comida u otros deseos (por ejemplo, «fresas» o «hazme cosquillas»). En cualquier caso, muchos investigadores están de acuerdo en que estas conductas lingüísticas animales no van mucho más allá de esto y que éstas palidecen al compararlas en complejidad con las de un niño humano de dos años de edad.

La Figura 12-6 demuestra espectacularmente el contraste entre las expresiones del chimpancé Nim, al que se enseñó un lenguaje de señas, y las expresiones de varios niños sin problemas auditivos que aprendieron inglés y niños sordos que aprendieron el Lenguaje de Señas Americano. El gráfico muestra cómo aumenta la longitud de las expresiones con el tiempo en todos los niños, mientras que el uso de Nim de las señas no aumentó en longitud ni en complejidad. La razón exacta de que los chimpancés puedan ser tan inteligentes en algunos aspectos y tan diferentes de los seres humanos en su capacidad para utilizar el lenguaje es una fuente de investigación y debate continuos.

Algunos investigadores del lenguaje han sugerido que la recurrencia sintáctica es la propiedad crucial que separa las capacidades de lenguaje humano de otros sistemas de comunicación (Hauser *et al*., 2002). Este enfoque sitúa la diferencia crucial entre los seres humanos y los simios en el nivel sintáctico de la representación, pero se han proporcionado otras sugerencias. Por ejemplo, Seidenberg y Petitto (1987) argumentaron una diferencia entre los seres humanos y los chimpancés al nivel de la palabra. Percibieron que los chimpancés pueden relacionar claramente la utilización de un símbolo y la obtención de una recompensa, pero no parecen entender los símbolos como *nombres* para las cosas. Por ejemplo, un chimpancé puede aprender que al apretar el símbolo para «fresa» en un teclado resulta con frecuencia en la obtención de una fresa para comer, pero no se da cuenta de que «fresa» denomina específicamente la sabrosa fruta roja y que *no* se refiere a comer, tampoco al lugar donde se guardan las fresas, ni tampoco a otros objetos o acontecimientos asociados con conseguir una fresa. La conducta de los chimpancés es claramente un ejemplo de comunicación, pero no encajan los criterios sobre las lenguas humanas que habían identificado Hockett y otros.

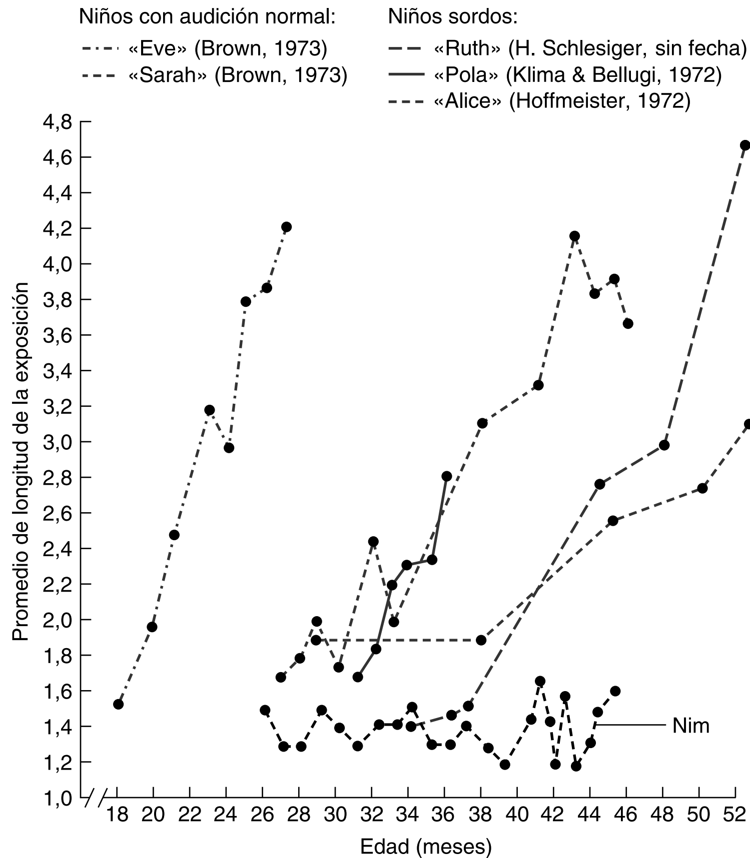



**FIGURA 12-6** La longitud de expresión en niños y en un chimpancé

La longitud de expresión de Nim, un chimpancé al que se le enseñó un lenguaje de señas, en principio parece equiparable a la de un niño de 18 meses de edad capaz de hablar. Sin embargo, la longitud de expresión tanto de los niños que hablaban como la de los que se expresaban por señas aumentó rápidamente con la edad, pero no la de Nim.

(De *NIM* Herbert S. Terrace. Copyright © 1979 por Herbert S. Terrace. Reimpreso con autorización de Alfred A. Knopf, una división de *Random House, Inc*).



## Control de comprensión



1. ¿Cuáles son los niveles de representación del lenguaje y cómo interactúan?
2. ¿Qué características distinguen al lenguaje humano de los sistemas de comunicación animal?

# 2 Procesos de comprensión del lenguaje

Los diferentes niveles de representaciones de lenguaje que se ilustran en la Figura 12-1 reflejan la información que conocemos de forma implícita sobre el lenguaje. ¿Cómo

se pone en uso este conocimiento en la comprensión de lo que escuchamos y leemos y en la producción de lenguaje?, ¿cómo podemos mirar las letras G, A, T y O todas juntas y darnos cuenta que esta secuencia de letras se refiere a un pequeño mamífero felino? Nuestras representaciones mentales de las palabras son un componente fundamental en una amplia serie de procesos: la comprensión del habla, la lectura, la escritura, la mecanografía y el habla. La primera cuestión a indagar es cómo se mantienen y se accede a las representaciones de las palabras en el servicio de la comprensión y la producción.

## 2.1. Modelo triangular del léxico

Los investigadores del lenguaje utilizan el término **léxico** para referirse al conjunto completo de representaciones mentales de las palabras. (El término deriva de una forma de la palabra latina *legere*, «leer», una conexión obvia con su significado). Se ha descrito con frecuencia el léxico como un diccionario mental, un depósito de lo que cada uno de nosotros conoce sobre las palabras, qué representan y cómo se utilizan. Esta comparación, aunque puede ser útil, no es del todo correcta: nuestras representaciones mentales no son listas de hechos sobre la pronunciación de una palabra, partes de un discurso y significados —¡y ciertamente no se encuentran en orden alfabético, lo que es una característica clave de los diccionarios! De hecho, durante algún tiempo los investigadores han señalado que la idea de la representación de las palabras como una lista estructurada no captaba los grados de similitud entre los significados de las palabras, como puede ocurrir en el hecho de que un petirrojo y un cardenal sean más similares entre ellos de lo que cualquiera de ellos es a un pato (Collins y Quillian, 1969). En vez de ello, estos investigadores promovieron la idea de que las representaciones mentales de las palabras se podrían describir mejor como redes. Los investigadores de la lectura llevaron estas ideas más allá al hacer la observación de que se puede considerar la lectura como algo que relaciona la ortografía con el sonido y la ortografía con el significado; otra vez se hace énfasis en el conocimiento del léxico como una cartografía entre un nivel de representación y otro (Seindenberg y McClelland, 1983). Éstas y otras consideraciones han conducido a muchos investigadores a concebir las representaciones de las palabras como redes que comprenden al menos tres componentes mayoritarios: la ortografía, el sonido y el significado.

En este **modelo triangular** (véase la Figura 12-7), la percepción del habla implica la relación entre la representación del sonido —la fonología— de la palabra (el punto inferior derecho del triángulo) con la representación de su significado, en la parte superior. La producción del lenguaje implica relacionar el significado de una palabra con la representación de su sonido, cuando se pronuncia en voz alta, o con su ortografía, cuando se representa por escrito.

El modelo triangular muestra las hipótesis que han planteado los investigadores sobre cómo se relacionan los diferentes aspectos del conocimiento de la palabra, pero no explica los procesos reales implicados en la comprensión y la producción del lenguaje. Lo que hace, sin embargo, es suministrar un marco para explorar muchos y diferentes aspectos de los procesos de comprensión en términos de relacionar una parte del triángulo (como son las representaciones del sonido) con otra (como son las representaciones del significado).

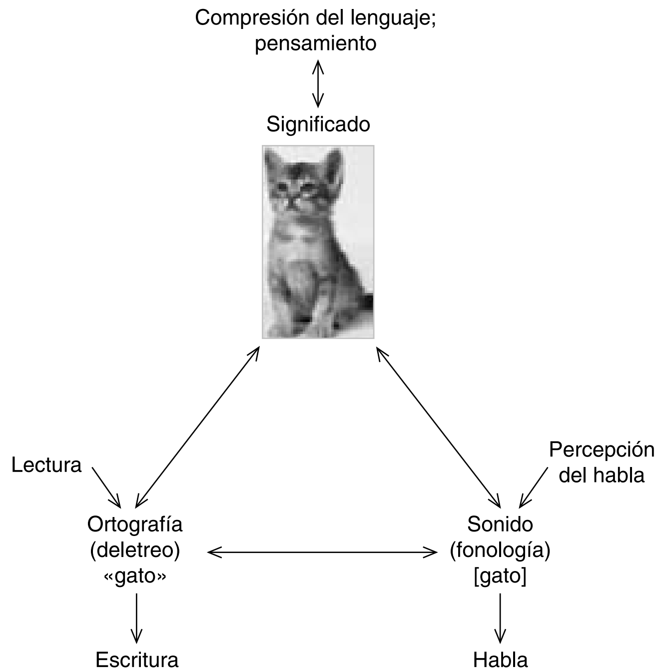



**FIGURA 12-7** Modelo triangular del léxico

Este modelo refleja la idea actual de los investigadores de que la información sobre las palabras se representa en una red que relaciona el significado, el sonido y la ortografía.

## 2.2. Ambigüedad: desafío omnipresente a la comprensión

La comprensión es un asunto complicado. En parte se debe al hecho de que la mayoría de las relaciones entre el sonido, el significado y la ortografía son arbitrarias —nada relacionado con la ortografía o el sonido de la palabra «gato» es inherentemente felino. Otra característica del lenguaje que contribuye a la dificultad para relacionar los diferentes niveles de las representaciones lingüísticas es la **ambigüedad,** que en el lenguaje es la propiedad que permite más de una interpretación de un sonido, palabra, frase u oración.

El lenguaje conlleva una gran cantidad de ambigüedad en cada nivel (véase la Tabla 12-1) y las ambigüedades en todos estos niveles se han de resolver antes de que se entienda el significado de lo que cualquiera puede estar diciendo. Consideremos la ambigüedad en un único nivel, el significado de la palabra. Echemos un vistazo a los objetos que nos rodean ahora mismo: con toda seguridad veremos este libro y probablemente una silla, una lámpara y una pluma. En inglés, estas cuatro palabras, *libro, silla, lámpara y pluma (book, chair, light, pen),* se pueden utilizar como sustantivos y como verbos. Algunas palabras, como por ejemplo *pen,* tienen incluso más significados; en este caso, dos como sustantivo (un instrumento de escritura y un cercado para animales) y dos como verbo (un sinónimo del verbo escribir y una expresión verbal que significa encerrar a un animal en un cercado). Volvamos a mirar otra vez a nuestro alrededor, probablemente veremos más objetos cuyos nombres en inglés son ambiguos (probablemente entre ellos, mesa —*table*—, suelo —*floor*—, página —*page*—), que objetos con nombres que parezcan tener un único y claro significado.

**TABLA 12-1** Ambigüedad en el lenguaje

| **Tipo** | **Percepción** | **Ambigüedad** |
|---|---|---|
| Delimitación entre palabras | Escuchamos en inglés «αl **skrim**» | ¿«Ice Cream»? [¿Helado?]<br>¿«I Scream»? [¿Grito?] |
| Ortografía /pronunciación y significado de la palabra | Leemos «dar cuerda» | ¿«Tender una cuerda» a algo o a alguien?<br>¿«Dar cuerda a un reloj»? |
| Ortografía y acento de la palabra | Escuchamos «aún así» | ¿«aún así» [todavía así]?<br>¿«aun así» [no obstante]? |
| Significado de la palabra | Escuchamos o leemos «corcho» | ¿La corteza del alcornoque?<br>¿Un tapón? |
| Estructura de la oración | Escuchamos o leemos «María leyó un libro sobre el *Titanic*» | ¿Leyó María un libro relativo al *Titanic*?<br>¿Leyó María un libro a bordo del *Titanic*? |
| Pronombres | Escuchamos o leemos «Susana le dijo a María que iba a ganar» | ¿Piensa Susana que María ganará?<br>¿Piensa Susana que ella, Susana, ganará? |

Este ejercicio demuestra una característica básica de las palabras: la ambigüedad es exuberante entre las palabras usuales de lenguaje y aquellas palabras que no tienen múltiples significados —por ejemplo, ozono, diéresis y fémur— habitualmente son términos técnicos y otras palabras relativamente inusuales. ¿Cómo se relaciona esto con el modelo triangular? Esto significa que una única ortografía o sonido cartografía múltiples significados de la palabra en lo alto del triángulo. Como resultado, para la mayoría de las palabras y en la mayoría de las ocasiones, debemos elegir entre múltiples significados alternativos, aun cuando habitualmente sólo seamos conscientes de una única interpretación. (Los juegos de palabras y otras bromas similares son una rara excepción: lo humorístico depende de hacernos conscientes de otro significado de una palabra ambigua).

Los estudios sobre cómo resolvemos las ambigüedades en el lenguaje son importantes por muchas razones. En primer lugar, estas ambigüedades están mucho más difundidas de lo que nos percatamos. Los investigadores que exploran las condiciones en las cuales es fácil resolver la ambigüedad y las condiciones en las cuales no lo es, nos pueden ayudar a mejorar la comunicación en situaciones difíciles, como las que se dan cuando se utilizan *walkies-talkies*, teléfonos móviles y otros aparatos propicios a tener interferencias o ruidos de estática. En segundo lugar, entender mejor por qué somos tan buenos resolviendo la ambigüedad nos puede ayudar a desarrollar programas de lenguaje de ordenador, como son los sistemas de reconocimiento del habla. En tercer lugar y lo más importante, el estudiar cómo nos enfrentamos a la ambigüedad, proporciona un buen campo de pruebas para entender cómo se representa y procesa mentalmente el lenguaje. La comprensión del lenguaje es de forma natural tan rápida y precisa, que con frecuencia es muy difícil tener conocimiento de los procesos a partir de observaciones directas, incluso con las formas más simples de lenguaje. Si en vez de ello podemos crear situaciones experimentales en las cuales los sujetos malinterpreten las ambigüedades, podemos conseguir algún conocimiento sobre cómo integramos habitualmente los varios niveles para entender correctamente el lenguaje.

Un tema común en la investigación de la resolución de la ambigüedad es la integración de la información de arriba a abajo con la de abajo a arriba (lo que se expuso por primera vez en el Capítulo 2). La i*nformación de abajo a arriba* procede directamente de lo que percibimos. Ahora mismo, según leemos, una fuente de la información de abajo a arriba es lo que está impreso en esta página. En el modelo triangular, la información de abajo a arriba se mueve desde los dos puntos inferiores del triángulo, la información ortográfica y la del sonido al vértice superior, el significado. La *información de arriba a abajo* procede de la información que tenemos cada uno de nosotros en la memoria a largo plazo y que nos puede ayudar interpretar lo que percibimos y de la información en el contexto en el cual ocurre la información de abajo a arriba. En el modelo triangular, la información de arriba a abajo también incluye la influencia procedente del significado en las representaciones ortográficas que tiene lugar durante la lectura. Dado que la información de abajo a arriba, tal como un texto impreso, es una cosa muy diferente de las representaciones de abajo a arriba del significado, del contexto y de otra información contenida en la memoria a largo plazo, no está del todo claro cómo se integran una con otra, dos formas tan diferentes de información para ayudar a la percepción. En realidad, las diferentes interpretaciones de cómo se integra dicha información forman parte de las principales controversias que existen hoy en día en la investigación del lenguaje. A continuación, examinaremos el papel de la información de abajo a arriba y la de arriba a abajo en la percepción del habla.

## 2.3. Percepción del habla

Cuando alguien nos habla, las fluctuaciones en la presión del aire alcanzan nuestro oído y de alguna manera somos capaces de convertir dichas ondas sonoras en un entendimiento de lo que el orador está diciendo. Un paso clave en este hecho significativo consiste en la identificación de las fronteras existentes entre las palabras que dice el orador. Esta es un área en la cual la lectura y la percepción del habla son radicalmente diferentes: en español y en la mayoría de los otros lenguajes escritos existen claros espacios en blanco entre las palabras impresas en una página, mientras que en el habla, las señales de fronteras entre las palabras no se marcan con pausas. Podemos tener la percepción consciente de escuchar palabras individuales en el discurso, pero en la realidad escuchamos algo parecido a esto: todaslaspalabrasestánconectadasenunaseñalhabladacontinua. Aglutinar el texto impreso en la página proporciona una cierta sensación parecida; un ejemplo de cómo realmente parece el habla se muestra en el espectrograma del sonido en la Figura 12-8. Un **espectrograma** es una representación visual bidimensional del habla, en la cual se muestra el tiempo en un eje, la frecuencia del sonido (que corresponde con el tono) en el otro y la intensidad del sonido en cada punto del tiempo y de la frecuencia se indica mediante la intensidad de trazo oscuro en el gráfico (y por tanto los espacios en blanco indican silencio). El espectrograma de la Figura 12-8 muestra la oración hablada «*We were away a year ago*» (estábamos fuera hace un año). La mayoría de las palabras de la oración no están separadas por espacios en blanco y existen algunos espacios en la mitad de las palabras como ocurre en «*ago*».

Sin pausas para guiarnos, ¿cómo encontramos las delimitaciones entre las palabras? Parece ser que cuando escuchamos el habla hacemos de forma inconsciente suposiciones aprendidas basadas en una mezcla de información de abajo a arriba y de

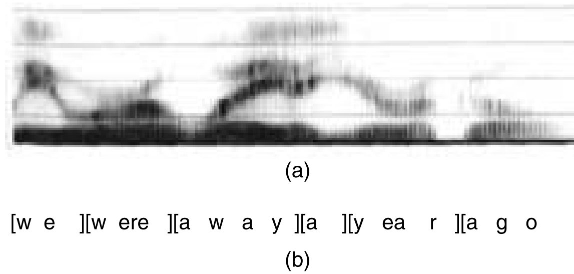



**FIGURA 12-8** *«We were away a year ago»*

Esta frase está representada por (a) un espectrograma, en el que (b) la localización aproximada de las palabras se muestra en la parte inferior. En los espectrogramas, los silencios (pausas) en la señal hablada aparecen como bandas blancas verticales. Repárese en que esta frase no tiene pausas entre las palabras y el único silencio se encuentra en realidad dentro de una palabra y ocurre en la letra «g» de la palabra «*ago*».

arriba a abajo (Altmann, 1990). La información de abajo a arriba incluye pistas procedentes directamente de la señal hablada, tales como los pequeños alargamientos ocasionales del silencio que realiza el orador cuando se para a pensar. La información de arriba a abajo incluye el conocimiento sobre los patrones habituales de los fonemas, por ejemplo que la [r] y la [k] no se siguen habitualmente la una a la otra en las palabras españolas (así que si escuchamos la secuencia [rk] probablemente la [r] estará terminando una palabra y la [k] será el inicio de otra (McQueen, 1998). Tenemos un conocimiento muy detallado sobre este punto en nuestro idioma nativo (o en cualquier otro que hablemos bien), pero este conocimiento no es útil cuando escuchamos a alguien hablar en un idioma que tiene pautas que no nos resultan familiares. Los hablantes de idiomas extranjeros, aparentan estar hablando muy deprisa en un amasijo de sonidos sin fronteras claras entre las palabras. (Los antiguos griegos se referían a los extranjeros como *barbaroi*, «bárbaros» no porque fueran rudos —no lo eran, necesariamente— sino porque hablaban algo que sonaba parecido a «barbarbar» en vez de a griego). Por lo contrario, cuando escuchamos un idioma que conocemos bien, no percibimos la señal del habla como una corriente continua, debido a que nuestro sistema de percepción del habla realizó un buen trabajo en la suposición de las fronteras entre las palabras; el resultado es la ilusión de que las fronteras, en la forma de pausas, se encuentran realmente en la señal física.

Un segundo problema clave en la percepción del habla es la identificación de los fonemas en la señal hablada. Existe una gran cantidad de variabilidad en la forma en la que se produce cada fonema: cada orador tiene una voz diferente y un acento ligeramente (o no tan ligeramente) distinto; y la claridad de la **articulación** —la producción de los sonidos del habla— varía dependiendo de la velocidad del habla, del estado de ánimo del orador y de otros muchos factores. La articulación de un fonema también depende de qué otros fonemas están siendo articulados inmediatamente antes o después. Pesemos en como decimos el mismo sonido [ll] en *llave* o en *yugo*. Intentémoslo preparándonos decir cada palabra por turnos parando justo antes de permitir que el sonido [ll] surja de nuestra boca. ¿Cómo están dispuestos sus labios en cada caso cuando estamos a punto de decir la [ll]? Veremos que la forma es muy diferente, debido a que incluso antes del que hayamos emitido ningún sonido para la [ll] nuestros labios se están preparando para producir la vocal que le sigue. Cuando la vocal es la «a» de *llave* los labios se encuentran abiertos, mientras que cuando se va a pronunciar la «u» de yugo, los labios se cierran en un círculo. Esta superposición de fo-

nemas en el habla se llama **coarticulación,** y tiene un gran efecto en el sonido de cada fonema. Si pronunciamos la [ll] de *llave* y de *yugo* sin las vocales pero con los labios ampliamente abiertos o cerrados en círculo como si fuéramos a decir cada una de esas palabras, posiblemente escucharemos que la [ll] en *llave* es de un tono más alto y suena diferente de la [ll] en *yugo*. El fenómeno de la coarticulación significa que cada fonema se articula de forma diferente dependiendo de qué fonemas le preceden o le siguen.

Los efectos combinados de la coarticulación, la variación entre oradores, la variación con la velocidad del habla y otros muchos cambios en la forma en la que las personas pueden hablar, significa que probablemente cada fonema nunca se articule dos veces exactamente del mismo modo. Esta enorme cantidad de variación significa que, en principio, es extremadamente difícil identificar qué fonemas se encuentran en la señal hablada. En cualquier caso, cubrimos de forma rutinaria ese reto. ¿Cómo? Una vez más, parte de la respuesta parece estar en la utilización de la información de arriba a abajo, particularmente de la información sobre el contexto en el cual se pronuncia un fonema. De este modo, un fonema mal articulado e incluso perdido se suministra a través del **efecto de restauración del fonema** (Warren, 1970).

En estudios aparentemente sencillos de este efecto, los sujetos escuchaban oraciones habladas en una cinta de audio e informaban sobre lo que escuchaban. Sin que lo supieran los oyentes, los experimentadores habían eliminado una pequeña porción de la cinta correspondiente a un simple fonema en una palabra e insertado en su lugar la grabación, una tos de exactamente la misma duración. (En la frase «Los gobernadores estatales se encontraron con sus respectivos dip*tados convocados en la misma ciudad», el * indica dicha sustitución), los sujetos entendieron perfectamente bien las frases. La mayoría no se dio cuenta de que se hubiera retirado nada de las frases; una percepción común fue que alguien en la sala había tosido durante la grabación. Esta ilusión es incluso más llamativa en frases como las que siguen (otra vez un * indica donde un fonema simple se ha eliminado y reemplazado por una tos):

Vieron un *alón entrar en la portería
Vieron un *alón fuera del zapato
Vieron un *alón completamente lleno de gente

En estos casos el sonido *alón es ambiguo para muchas palabras entre las cuales se encuentran balón, talón y salón. Los sujetos no tuvieron dificultades para comprender las frases y percibieron *alón como una palabra diferente en cada contexto —escucharon «balón entrar en la portería», «talón fuera del zapato», «salón completamente lleno de gente»—.

Este resultado aporta una sólida prueba del papel de la información de arriba a abajo en la percepción de los fonemas. La palabra al final de las frases (portería, zapato, gente) puede influir en la percepción del *alón sólo después de que haya sido reconocida parcialmente, su significado recuperado parcialmente y considerada su relación con varias palabras que terminan con un sonido parecido a *alón*. Todas estas frases comienzan del mismo modo y es el contexto de arriba a abajo que ocurre cuatro palabras más tarde del *alón, lo que predispone las percepciones de los oyentes. Estos resultados resaltan también un punto que ha sido confirmado en muchos estudios: aun cuando nuestra percepción consciente es que reconocemos de forma instantánea las palabras que escuchamos, muy frecuentemente en la realidad toda la información pertinente para el reconocimiento de la palabra no llega hasta que la

hemos escuchado en su totalidad (Grosjean, 1985). La percepción del habla es extremadamente rápida pero no es siempre tan instantánea como la sentimos (véase *Una visión más detenida*).

Otro tipo de información contextual en la percepción del habla procede no de lo que escuchamos sino de lo que vemos. Alguien que sea duro de oído puede decir «Le entiendo mejor cuando puedo ver su cara». Alguien que no sea duro de oído puede decir lo mismo: una cierta cantidad de lo que comprendemos cuando escuchamos con o sin deficiencias auditivas procede de la lectura de los labios. Poder ver la cara del orador proporciona información adicional sobre los fonemas que están siendo pronunciados debido a que muchos fonemas se pronuncian con posturas características de los labios. Falta de coincidencia entre los sonidos del habla que se escucha y las señales visuales de la articulación pueden causar confusión —pensemos en una película de dibujos animados mal realizada o en una película extranjera doblada al castellano—.

Esta confusión entre lo que se ve y lo que se escucha se llama el *efecto de McGurk* por Harry McGurk que lo descubrió por accidente (Massaro y Stork, 1998; McGurk y McDonald, 1976). McGurk y su asistente de investigación, John McDonald estaban utilizando cintas de vídeo y de audio de madres hablando, para estudiar la percepción del habla en los niños. Cuando doblaron el audio de una madre diciendo «ba» en una cinta de vídeo muda de ella misma diciendo «ga» y reprodujeron la cinta de video, se vieron sorprendidos al escuchar a la madre en la cinta diciendo repentinamente un tercer sonido «da». Eventualmente se dieron cuenta de que el problema no estaba en el doblaje: si cerraban sus ojos y escuchaban la grabación de audio, oían con claridad decir «ba». La percepción del «da» cuando observaban y escuchaban simultáneamente la cinta era una ilusión que surgía debido a que sus sistemas perceptivos combinaban las señales procedentes de las grabaciones de audio y del video. La cinta de vídeo llevaba el «ga» en el cual la consonante [g] se realiza moviendo la lengua en la parte trasera de la boca y la cinta de audio llevaba el «ba» en el cual la consonante [b] se realiza con los labios en la parte delantera de la boca. Los procesos de percepción del habla combinaban estas dos señales en conflicto para dar como resultado la percepción intermedia del «da» en el cual la consonante [d] se realiza en la parte central de la boca.

Estos ejemplos de integración de la información explican por qué pudimos entender a nuestra amiga diciendo que los fideos de sésamo de *El cerdo feliz* eran «absolutamente alucinantes» incluso si el ruido del tráfico amortiguó en gran parte estas dos últimas palabras. Pudimos suplir una señal hablada muy pobre (la información de abajo a arriba) debido a que fuimos capaces de integrar la información de arriba a abajo procedente de una variedad de fuentes. Tuvimos cierta información extra al mirar la boca de nuestra amiga durante la articulación [al] en «alucinante», por ejemplo, se realiza en la parte delantera de la boca y es claramente visible. También tuvimos ayuda procedente del contexto (parecía probable que ella fuera a ofrecer alguna descripción sobre los fideos, lo que hacía probable la palabra *alucinante* u otro adjetivo), y quizá también procedente de la memoria a largo plazo (puede que, de forma irritante, ella diga mucho «alucinante»). Todas estas fuentes juntas permitieron a nuestro sistema de percepción del habla hacer una muy buena suposición de lo que se había dicho realmente. Un minuto más tarde, sin embargo, cuando nuestra amiga estaba intentando describir la localización del restaurante, la información de arriba a abajo era escasa. Las posturas de la boca pudieron haber ayudado algo, pero había poco en el contexto —ella podría haber estado mencionado cualquier número en una

## UNA VISIÓN MÁS DETENIDA

### Múltiples hipótesis durante el reconocimiento de la palabra hablada

Analicemos un experimento realizado por Richard Shillcock que investigó cómo percibimos las palabras en el habla fluida. (Shillcock, R. [1990]. Lexical hypotheses in continuous speech. In C. T. M. Altmann [Ed.] *Cognitive models of speech processing* [pp. 24-49] Cambridge, MA: The MIT Press).

**Introducción**

Las palabras no están separadas por silencios en la señal del habla, y por lo tanto el oyente se enfrenta al problema de identificar las delimitaciones entre las palabras. Una forma posible de encontrar estas fronteras entre palabras en el habla es la de probar, de forma simultánea, muchas hipótesis diferentes para las palabras y delimitaciones entre palabras. Por ejemplo, alguien que escuche la secuencia de sonidos «sobre-sei-mien-to» podría plantear sucintas hipótesis sobre si pertenecen a cinco palabras separadas, *sol, abre, seis, miel, todo* o a tres palabras diferentes *sobre, seis, miento,* pero al final rechaza estas combinaciones sin sentido para decantarse a favor de una única palabra, *sobreseimiento*. En cualquier caso, excepto en fallos de percepción ocasionales, no somos conscientes de considerar y rechazar palabras equivocadas. Así pues, es importante buscar evidencia experimental para estos procesos inconscientes de la percepción del habla.

**Método**

Los sujetos realizaron dos tareas simultáneamente: escucharon frases habladas, y en algún momento en el transcurso de cada frase, vieron una cadena de letras en la pantalla de un ordenador y tuvieron que presionar una tecla para indicar si la tanda de letras era o no una palabra real (una tarea de *decisión léxica*). Sin que lo supieran los sujetos, algunas de las frases habladas y de las palabras impresas tenían una relación especial que había sido diseñada para responder a la cuestión de si los oyentes consideraban diversas hipótesis durante la percepción del habla. En estas pruebas críticas, los sujetos escucharon frases que contenían una palabra de dos sílabas en la cual la segunda sílaba formaba una palabra real. Por ejemplo, en la frase original inglesa *«He carefully placed the trombone on the table»* («Colocó con cuidado el trombón sobre la mesa»), la segunda sílaba de la palabra *«trombone»* coincide con la palabra real «*bone*» («*hueso*»). Para la mitad de estas frases, la palabra impresa de la tarea de decisión léxica estaba relacionada con la palabra ocluida a partir de la segunda sílaba (por ejemplo, *costilla* que está relacionada con *hueso*), para la otra mitad de las frases la palabra que aparecía impresa *no tenía* relación alguna (por ejemplo, «*bun*», [es decir «bollo» ]). Si los oyentes estaban considerando de forma temporal «*bone*» como una palabra posible en la frase, al tiempo que estaban intentando encontrar las fronteras entre palabras y reconocer las palabras, entonces activar *bone* como una palabra posible debería realizar un priming de las palabras relacionadas como es el caso de *rib*. Este priming de *rib* a partir de *bone* debería resultar en respuestas más rápidas en la tarea de decisión léxica a *rib* que a la palabra no relacionada «*bun*». Ni «*rib*» ni «*bun*» están relacionadas con la palabra *trombone*, por lo que si los oyentes se decidían inmediatamente por *trombone* y no consideraban *bone* durante la comprensión del habla, entonces no habría *priming* de la palabra *rib* y por lo tanto, no habría diferencia en el tiempo de respuesta para las palabras *rib* y *bun*.

**Resultados**

En la tarea de decisión léxica, los sujetos evaluaron las palabras relacionadas con segundas sílabas concluidas (tal como *rib* relacionada con *bone*) con mayor rapidez de lo que lo hicieron con palabras no relacionadas (*bun*).

**Discusión**

Este resultado sugiere que incluso cuando los sujetos no sean conscientes de considerar varias delimitaciones diferentes entre palabras y varias palabras distintas durante el reconocimiento del habla, de hecho activan posibilidades (tal como *bone* durante el reconocimiento de *trombone*, que rechazan rápidamente. Estos resultados apoyan la idea de que el reconocimiento del habla es un proceso en el cual se ensayan de forma inconsciente muchas alternativas y rápidamente se escoge aquella que es más adecuada.

calle o un punto de referencia—. Como resultado, cuando su discurso fue otra vez enmascarado por el ruido del tráfico, no tuvimos idea de lo que ella estaba diciendo.

Los resultados que hemos discutido indican la importancia de integrar la información de arriba a abajo y de abajo a arriba durante la percepción del habla, pero no sugieren cómo se integra dicha información. Se piensa que gran parte del componente de reconocimiento de la integración funciona mediante un proceso inconsciente de eliminación, en el cual consideramos un cierto número de palabras posibles, llamado **cohorte**, que coinciden con la señal hablada que escuchamos y que después, de forma gradual, eliminamos aquellas que no coinciden con la información disponible de abajo a arriba o de arriba a abajo (Marslen-Wilson, 1984a). Así pues, cuando reconocimos la palabra *alucinante*, pudimos haber empezado con un conjunto de posibilidades de palabras que comenzaban con la misma vocal: *aguachinados, agridulces, albardados, almizclados, alucinógenos, alucinantes, australianos, austriacos*... Tan pronto escuchamos el sonido de la [l] en alucinantes algunas de las palabras de la cohorte ya no coincidieron con la señal hablada (la información de abajo a arriba) y se eliminaron de la cohorte, quedando tan sólo *albardados, almizclados, alucinógenos y alucinantes*.. Al mismo tiempo, estábamos pensando sobre las fronteras entre las palabras, de tal forma que nuestra cohorte podría haber incluido alguna pareja de palabras diferentes como, por ejemplo, *al vapor* (Shillcock, 1990). De forma muy rápida, según se va percibiendo mayor extensión de la señal hablada y según la información de arriba a abajo sugiere que algunas posibilidades no tienen sentido (por ejemplo, australianos y austriacos no son adjetivos), distintas palabras van saliendo de la lista hasta que sólo una, *alucinante*, permanece en la cohorte.

Dos evidencias cruciales apoyan el punto de vista de que la percepción del habla implica una consideración de muchas posibilidades y la eliminación de las incorrectas. La primera se deriva de la naturaleza del conjunto de palabras que resultan familiares: aunque algunas palabras se pueden diferenciar muy rápidamente de otras posibilidades según se va escuchando una mayor parte de la señal hablada, otras palabras son similares a otras muchas durante una gran parte de la señal hablada. En el ejemplo de *alucinante*, cuando se han escuchado las sílabas *a-lu* quedan muy pocas posibilidades dentro de la cohorte —alucinante, alucinógenos, además de algún conjunto de palabras que comiencen por alu--- o alhu--- y poco más—. Sin embargo, los primeros los sonidos de la palabra *todo,* la consonante *t* y la vocal *o* permiten muchas más posibilidades en la cohorte —todo, toco, Togo, tojo, tomo, topo, toro, toso y otras muchas. Los investigadores del habla describen estas diferencias en los términos de **densidad por vecindad**, el número de palabras que tienen un sonido similar en un idioma. *Alucinante* tiene muy pocos vecinos mientras que *todo* tiene una multitud de palabras que suenan de una forma parecida.

Si los investigadores están en lo cierto al creer que reconocemos las palabras mediante la consideración inicial de una cohorte de posibilidades y la eliminación de las

incorrectas, se puede admitir que cuanto más vecinas tenga una palabra, más tiempo se tarda en eliminar las incorrectas y en llegar al punto en el que se reconoce la palabra que se había dicho realmente. Esto se ha demostrado experimentalmente: muchos estudios han mostrado que los sujetos son más rápidos para reconocer palabras tales como *alucinante*, que tienen pocos vecinos, que palabras como *todo* que tienen multitud de ellos —lo que confirma el efecto de la densidad por vecindad (Luce y Pisoni, 1998).

Una segunda prueba de las cohortes y el proceso de eliminación procede de la observación de nuestras respuestas involuntarias. No tenemos la sensación consciente de estar considerando muchas posibilidades a lo largo de la percepción del habla, pero el modelo de cohorte sugiere que los candidatos en la cohorte deben provocar un mayor grado de activación que las palabras que no se consideran. Si así fuera, deberíamos ser capaces de observar algunas consecuencias de esta activación y esto, también, se ha demostrado experimentalmente. Por ejemplo, en un estudio se mostró a los sujetos una serie de objetos sobre una mesa y se les pidió que siguieran las instrucciones que escuchaban, tales como «coja la copa» (Allopena *et al.*, 1998). En algunas condiciones, entre los objetos de la mesa había una copa, una cofia (el sonido inicial de cofia coincide con el de copa) y algo de ropa (ropa rima con copa) así como otros varios objetos cuyos nombres no tenían sonidos coincidentes con copa. Los investigadores controlaron los movimientos oculares de los sujetos hacia los diversos objetos sobre la mesa, lo que indicaba que mientras reconocían la palabra *copa* los sujetos también estaban considerando (mirando hacia) la cofia y la ropa (y no los objetos cuyos nombres no tenían sonidos coincidentes con copa). Igualmente, otros investigadores encontraron que cuando se escuchan palabras tales como *capazo,* que contienen otra palabra (*capa*), se consideran ambas palabras (*capa y capazo*) (Shillcock, 1990). Estos resultados indican que incluso aunque no seamos conscientes de considerar alternativas durante la percepción del habla, de hecho consideramos una cohorte de posibilidades durante el reconocimiento de las palabras.

¿Por qué pasamos por alto faltas de coincidencia al inicio de una palabra y consideramos alternativas tales como *ropa* por *copa* o *capa* por *capazo?* Una razón posible es la dificultad en el reconocimiento de la frontera entre palabras. Debemos suponer dónde se encuentran las fronteras entre palabras al tiempo que estamos desarrollando candidatas para las palabras que escuchamos. Si no estamos seguros sobre las fronteras entre palabras, entonces no podemos estar seguros sobre qué fonemas se encuentran realmente en el inicio de una palabra. Así pues, tiene sentido considerar en la cohorte muchas palabras con sonidos parcialmente coincidentes, incluso aquellos que tengan sonidos iniciales diferentes. El proceso de reconocimiento del habla es similar a trabajar en muchas respuestas diferentes que se entrecruzan en un crucigrama al mismo tiempo que se hacen suposiciones sobre la delimitación entre palabras, las palabras que se están escuchando y los fonemas que se están oyendo, todo al mismo tiempo. Una buena suposición en una de estas áreas, hace rápidamente que las suposiciones en las otras sean mucho más fáciles.

## 2.4. Representación del significado

La identificación de las palabras es tan solo el comienzo de la comprensión, y alcanzar el significado real de lo que está diciendo el orador es la última meta. En el modelo triangular (véase la Figura 12-7), el cálculo del significado de las palabras indivi-

duales se representa como la cartografía (*mapping*) del nivel fonológico y la representación del significado. Los investigadores suelen pensar en la representación mental del significado como una red de características interconectadas.

Cierta evidencia de este punto de vista «no de diccionario» del significado léxico procede de estudios con pacientes que han sufrido una lesión en el lóbulo temporal del cerebro. Estos pacientes habían tenido previamente capacidades lingüísticas normales, pero su lesión del lóbulo temporal (por lo general bilateral o afectando predominantemente al hemisferio izquierdo) disminuyó su conocimiento del significado de las palabras (véase la Figura 12-9). Algunos de estos pacientes tenían **alteraciones específicas de categoría**, esto es, tenían más dificultad para activar la representación semántica de algunas categorías que de otras (lo cual se explicó en el Capítulo 4). Los investigadores que estudian a estos sujetos les piden que indiquen el significado de dibujos, ya sea nombrando el objeto que figura en el dibujo o de algún otro modo, por ejemplo, eligiendo uno de una serie de dibujos en respuesta a una instrucción como «señale el plátano». En estos estudios se han utilizado muchos tipos diferentes de dibujos, desde seres vivos hasta objetos inanimados —animales, pájaros, plantas, herramientas, instrumentos musicales, vehículos, etc.— Los investigadores han hallado un resultado sorprendente: algunos pacientes tienen un rendimiento mucho peor en dibujos de ciertas categorías que en otras y, comparando entre pacientes, no siempre son los mismos dibujos o categorías los que resultan ser especialmente difíciles. Los pacientes con este tipo de daño cerebral suelen pertenecer a una de dos amplias categorías: los que tienen relativamente más dificultad para reconocer seres vivos (animales, frutas, pájaros) y los que la tienen para reconocer objetos manufacturados (herramientas, vehículos, instrumentos musicales). A veces los pacientes tienen problemas

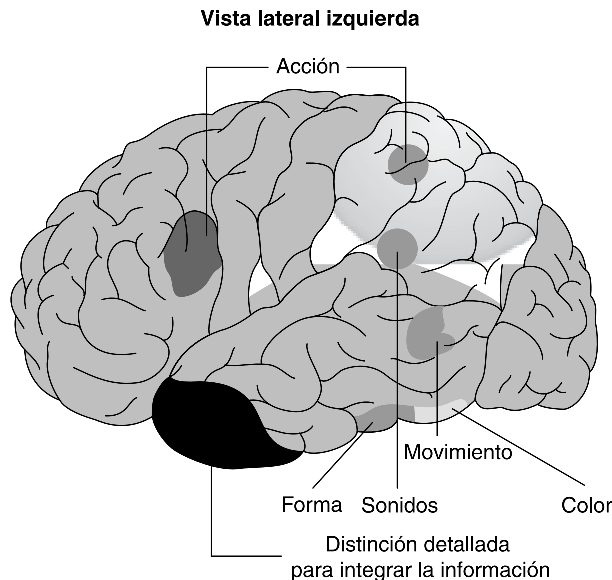



**FIGURA 12-9** Regiones del cerebro que participan en la representación del significado de las palabras

La lesión de estas áreas afecta a la comprensión del significado de ciertas palabras, en ocasiones en forma de alteraciones específicas de categorías. Los modelos de alteraciones sugieren que las palabras están representadas en redes semánticas que incluyen diversos tipos de información, incluyendo aspectos perceptivos. Parte de esta información se representa también en áreas similares del hemisferio derecho.

con una categoría restringida, tal como frutas o verduras; y menos dificultades con otro tipo de seres vivos (véase la Figura 4-16 y el comentario adjunto).

Algunos investigadores han sugerido que estas pautas de alteración implican una *representación semántica* (una representación mental del significado) que descansa en varias combinaciones de información perceptiva (en particular, de información visual) e información funcional —información sobre para qué se utiliza esa cosa (Warrington y McCarthy, 1987; Warrington y Shallice, 1984). En este enfoque, existe una amplia división entre los seres vivos y los objetos manufacturados en estas dos dimensiones. Para quienes no son zoólogos, los seres vivos se distinguen unos de otros principalmente mediante características perceptivas —una cebra tiene rayas blancas y negras; un antílope y un ciervo tienen cornamentas de formas diferentes—. Los objetos manufacturados, tales como las herramientas, los artículos de escritorio y los muebles, tienen algunas propiedades perceptivas importantes, pero, habitualmente, su *función* es de mayor importancia. Un lápiz o un martillo o un coche pueden ser de cualquier forma o color y seguir siendo un lápiz, un martillo o un coche, pero si se modifica el dibujo de una cebra y se eliminan sus rayas, la mayoría de la gente pensará que es algún tipo de caballo y en ningún caso una cebra. Los pacientes con mayores alteraciones en las regiones del cerebro que procesan la información perceptiva tendrán, por lo tanto, mayores dificultades para reconocer los seres vivos que los objetos manufacturados, mientras que mayores alteraciones en las áreas cerebrales que procesan la información funcional producirán mayores dificultades en el reconocimiento de objetos manufacturados como cosas diferentes de los seres vivos. Una excepción a esta pauta son los instrumentos musicales —los pacientes que tienen dificultades al identificar los seres vivos, suelen tener también dificultades con los instrumentos musicales—. Pero la excepción puede no ser tan «excepcional»: cierto, los instrumentos musicales son objetos manufacturados, pero es importante una información perceptiva finamente detallada para distinguirlos (pensemos en cómo somos capaces de distinguir si un dibujo corresponde a una guitarra o a un violín).

Los modelos de alteración van en contra de una representación semántica en la cual cada palabra es su propia entrada léxica diferenciada, o incluso un esquema en el cual cada categoría se almacena en un área cerebral distinta. Estos tipos de organización no predicen lo que se ha observado: agrupaciones semánticas particulares se ven disminuidas de forma colectiva; por ejemplo, la dificultad para identificar instrumentos musicales acompaña con frecuencia a la dificultad para identificar animales. En vez de eso, las pautas de déficit sugieren que el significado de las palabras están representados por combinaciones de información perceptiva, información funcional y probablemente también otros tipos de información. Los problemas mencionados de los pacientes sugieren que dichas redes de información funcional y perceptiva pueden estar representadas en diferentes partes del cerebro. Es decir, es de esperar que los pacientes con mayores dificultades para reconocer los seres vivos tengan más dañadas las áreas del cerebro que implican la integración de las características perceptivas tales como la forma y el color, mientras que los pacientes con mayores dificultades en el reconocimiento de los objetos tengan más dañadas las áreas del cerebro relacionadas con la función, particularmente las áreas motoras (debido a que la función frecuentemente se lleva a cabo por el modo en el que manipulamos un objeto).

Pruebas a favor de estas hipótesis las aportan los estudios de neuroimagen con pacientes normales mientras accedían a representaciones semánticas. En uno de dichos estudios, se presentaron palabras a los sujetos y se les pidió que pensaran en silencio

sobre los nombres de los colores que resultaban apropiados para las palabras presentadas (tal como *amarillo* para *plátano* y, por lo tanto, activaran la información perceptiva) o en palabras de acción (tal como *comer* para *plátano* y activaran la información funcional) (Martin *et al*., 1995). Los investigadores encontraron que pensar sobre el color activaba un área cercana a las regiones cerebrales implicadas con la percepción del color, y que pensar sobre la acción relacionada activaba un área cercana a las regiones cerebrales que controlan el movimiento. Estos y otros resultados sugieren que las representaciones del significado están distribuidas a lo largo de muchas regiones cerebrales en redes que codifican diversos aspectos del significado, incluyendo las características perceptivas, las características del movimiento y las asociaciones emocionales (un estudio similar se describió en el Capítulo 4).

Si las palabras se representan a través de redes de características, ¿qué ocurre cuando una palabra tiene varios significados distintos? Virtualmente, cada palabra de uso común en inglés tiene más de un significado. El problema no es tan grande en el «diccionario mental» responsable de las representaciones del significado; una lista de entradas al diccionario recoge todos los diferentes significados de las palabras ambiguas. Si pensamos en significado como algo que emerge de las redes de características, ¿cómo están representados los diferentes significados de una palabra y cómo activamos el significado correcto cuando nos encontramos con una palabra ambigua?

En un estudio en el que se pretendía responder a esta pregunta se presentó a los sujetos palabras que tenían significados igualmente frecuentes como sustantivo y como verbo, tales como *watch* (reloj y vigilar) o *tire* (neumático y cansar) (Tanenhaus *et al*., 1979). Estas palabras ambiguas se presentaron en contextos en los cuales la sintaxis de la frase forzaba la interpretación de la palabra, bien como sustantivo (*I bought the watch* [compré el reloj]), o bien como verbo (*I will watch* [vigilaré]). La palabra ambigua se encontraba siempre al final de la oración. Los sujetos escucharon frases de este tipo y después de cada frase vieron una palabra en una pantalla que debían leer en alta voz. En ocasiones la palabra que debía ser leída en voz alta estaba relacionada con el significado como sustantivo de la palabra ambigua, como ocurre con *clock* para el significado como sustantivo de la palabra *watch*. Los investigadores compararon los tiempos de lectura en tres condiciones: (1) Cuando la palabra en la pantalla era consistente con el significado de la palabra ambigua tal y como se utilizaba en la frase (por ejemplo, la palabra *clock* siguiendo la frase *I bought the watch*), (2) Cuando la palabra en la pantalla era consistente con el otro significado de la palabra ambigua (por ejemplo, *clock* siguiendo la frase *I will watch)* y (3) una condición de referencia en la cual la palabra que apareció en la pantalla no tenía relación con ninguno de los significados de la palabra ambigua. Los investigadores también variaron el tiempo transcurrido entre que los sujetos escuchaban la palabra ambigua al final de la frase y la aparición en la pantalla de la palabra (relacionada o no relacionada) que debía ser leída en voz alta.

Cuando la palabra que debía ser leída aparecía siguiendo inmediatamente a la palabra ambigua, el resultado fue sorprendente: los tiempos de lectura para *ambas* palabras relacionadas (en este ejemplo «*clock*» y «*look*») fueron más cortos que cuando la palabra no estaba relacionada con ningún significado de la ambigüedad —aun cuando una de las dos palabras relacionadas no tuviera sentido en el contexto de la frase—. Sin embargo, cuando la palabra que tenía que ser leída en voz alta aparecía 200 milisegundos después de que acabara la frase, los sujetos leyeron la palabra relacionada apropiada más rápidamente que la palabra inapropiada: por ejemplo, los su-

jetos leyeron *clock* más deprisa cuando seguía a *I bought the watch* que cuando seguía a *I will watch*.

Estos resultados proporcionan información sobre el tiempo relativo necesario para la resolución de la ambigüedad léxica en la información de abajo a arriba y de arriba a abajo. Parece ser que inmediatamente después de que se escucha una palabra ambigua se activan varios de sus diferentes significados, pero dentro de intervalo de 200 milisegundos la información de arriba a abajo procedente del contexto ha suprimido todos ellos excepto aquel significado que coincide con el contexto. Algunos investigadores han interpretado que estos resultados dan a entender que la resolución de la ambigüedad se basa en un proceso en dos fases: en primer lugar, existe una fase de abajo a arriba en la cual se accede a todos los significados de la palabra ambigua independientemente del contexto; posteriormente hay una segunda fase, en la cual se utiliza la información de arriba a abajo sobre el contexto para elegir el significado correcto (véase, por ejemplo, Swinney, 1979).

Estudios subsecuentes manipularon variables, tales como la fuerza del contexto y las frecuencias relativas de significados alternativos de palabras ambiguas (por ejemplo, el uso de la palabra *banco* como institución financiera es más frecuente que su utilización como «ribera de un río») y los resultados han demostrado que estos y otros factores afectan a la extensión en la cual se activan múltiples significados para las palabras ambiguas.

Se ha elaborado un modelo de red neural para interpretar estos hallazgos: en este modelo la activación de cada significado de una palabra ambigua depende de la fuerza de su conexión con la ortografía o el sonido de la palabra (Kawamoto, 1993). Por ejemplo, dos significados de la palabra *watch* se activan inicialmente porque son caminos sólidos a partir de la ortografía y de la fonología de la palabra *watch* a dos significados diferentes. Sin embargo, para palabras con un significado frecuente y otro relativamente raro como ocurre con *banco*, el significado con mayor frecuencia ha sido percibido y producido más frecuentemente y por lo tanto tiene una conexión más fuerte entre el significado y la ortografía y la fonología. El resultado es que el significado más frecuente se activa de forma más rápida que el significado menos frecuente.

Además, los efectos del contexto de arriba a abajo son más lentos que los efectos de abajo a arriba cuando los contextos no están fuertemente asociados con uno u otro significado. En la frase «*I bought the watch*» («Compré el reloj») no hay nada relativo al contexto *I bought the* (compré) que se asocie con cronómetros; más bien, sólo después de que aparezca la palabra *watch* (reloj) puede el contexto tener un papel en la interpretación de esta palabra ambigua. Otros contextos, tales como «*pensé que el despertador adelantaba, así que comprobé mi reloj*», se asocian más estrechamente con el concepto de tiempo incluso antes de que se encuentre la palabra *reloj* y los efectos del contexto se ven más rápidamente en casos como éste.

Esta discusión sobre la resolución de la ambigüedad léxica en el contexto, ha hecho énfasis en el cronometraje de los diferentes tipos de activación de la información de los procesos de abajo a arriba y de arriba a abajo. También se relaciona, sin embargo, con la idea de que las palabras están representadas mediante redes superpuestas que codifican diferentes aspectos del significado de las palabras, tales como las características perceptivas y funcionales de un sustantivo tal como *plátano*. Es cierto que *plátano* no es una palabra ambigua en el mismo sentido que lo son *banco* y *watch* (reloj, vigilancia); aun así, se observó activación en regiones completamente diferentes del cerebro cuando se pidió a los sujetos que pensaran en los aspectos percep-

tivos o funcionales de su significado. Así pues, cada palabra tiene diferentes aspectos de su significado en los que se pueda hacer énfasis en un mayor o menor grado en diferentes contextos y existe una variación en la extensión en la cual estos diferentes significados están relacionados. En un extremo de esta distribución se encuentran palabras como *watch* que tienen varios significados que son distintos unos de otros. En el otro extremo se encuentran palabras técnicas muy específicas, tales como *ozono*. Debido a que el contexto puede destacar de forma llamativa diferentes aspectos del significado de la palabra, la mayoría de las palabras se sitúan entre los dos extremos. Incluso para palabras con acepciones únicas, tales como *banana* (plátano), puede no haber un aspecto nuclear —característica funcional o perceptiva alta— del objeto que se activa en *cada ocasión* que se escucha la palabra. Aunque palabras tales como *watch,* que pueden significar cosas diferentes (reloj, vigilar), muestran cierto grado de activación inicial de diferentes significados, transcurridos los primeros cientos de milisegundos el contexto de la frase contribuye grandemente a determinar las características de la palabra que están activas durante la comprensión.

## 2.5. Comprensión de oraciones

Las oraciones o frases proporcionan contextos que pueden matizar el significado de las palabras individuales; por supuesto ellas también tienen significado por sí mismas. Parte de este significado viene de los significados de las palabras incluidas en la frase, parte de la sintaxis de la frase —la relación de dichas palabras unas con otras—. «Un hombre muerde a un perro» significa algo diferente a «un perro muerde a un hombre». Pero nada es simple: las frases como un todo estructural, al igual que las palabras dentro de ellas, pueden conllevar ambigüedad. Por ejemplo, consideremos la frase «El espía [vio al policía con prismáticos]», la proposición «con prismáticos» describe algo relativo al policía, concretamente que es un policía que tiene unos prismáticos. Pero si la estructura de la frase es «el espía vio [al policía] con prismáticos» entonces, «con prismáticos» está describiendo algo relativo a la forma de ver, concretamente, que el espía está utilizando los prismáticos como una ayuda para ver.

Este ejemplo ilustra la **ambigüedad estructural**: la cadena lineal de palabras que se escucha o se lee es consistente con más de una estructura sintáctica y significado de la frase. El orador o el escritor pretenden tan solo una estructura o significado y el oyente o lector debe figurarse cuál es, reconstruyéndolos a partir de la cadena de palabras. Las ambigüedades estructurales son extremadamente frecuentes en el habla y en la escritura, pero sin embargo solemos hallar el modo de encontrar la interpretación correcta. ¿Cómo lo hacemos? Los fallos ocasionales son bastante reveladores de cómo funciona la comprensión. Estos fallos suelen dar pie a bromas en las cuales la gracia viene, en parte, de llevar al oyente (o al lector) hacia una interpretación de una frase y dar repentinamente otra interpretación —la que se pretende—. El gran cómico Groucho Marx fue un maestro en esto. Una de sus bromas más famosas de este tipo se encuentra en su película *Animal Crackers*: «Una mañana disparé a un elefante en pijama. Ignoro cómo pudo ponerse mi pijama» la broma funciona debido a la ambigüedad estructural de la primera frase, la misma ambigüedad que existe en la frase anterior referente a los *prismáticos*. La audiencia interpreta la primera frase como «Disparé en pijama [a un elefante]» y se sorprende cuando el contexto siguiente revela que la estructura es «Disparé a [un elefante que estaba en pijama]». Ese tipo de ambigüedad se llama **frase del jardín,** debido a que se lleva al oyente o lector a «me-

terse en un jardín», hacia una interpretación incorrecta antes de permitirle que vuelva a analizar la frase y encuentre la interpretación correcta.

Las frases del jardín revelan una propiedad básica sobre cómo es la comprensión de las frases: su **inmediatez** —interpretamos las palabras según las vamos encontrando (Just y Carpenter, 1980)—. En principio, podemos evitar el tener que lidiar con muchas ambigüedades simplemente esperando a escuchar la frase completa, o incluso más frases, antes de tomar ninguna decisión sobre lo que significan las palabras y cuál es la estructura de la frase. De este modo no podríamos sorprendernos por una ambigüedad resuelta, ya que rechazaríamos nuestra interpretación hasta que hubiéramos escuchado lo suficiente y el contexto hubiera resuelto cualquier ambigüedad. El hecho de que las frases del jardín nos sorprendan, indica que la comprensión tiene lugar tan pronto como podemos hacer una suposición razonablemente buena (inconsciente) sobre lo que estamos percibiendo. Esto significa que, con frecuencia, tenemos que hacer estas suposiciones sobre las interpretaciones correctas a partir, tan solo, de información parcial. Presumiblemente, conseguimos la interpretación correcta de las ambigüedades la mayoría de las veces, sin haber nunca advertido de forma consciente los significados alternativos debido a que estas suposiciones tempranas son con frecuencia correctas o se corrigen muy rápidamente, antes de que tengamos oportunidad de percibir interpretaciones alternativas de forma consciente. Hemos observado previamente este mismo fenómeno en el efecto de restauración de los fonemas, en el cual las personas no advierten cuando un fonema dentro de una palabra fue sustituido por una tos como en «Vieron entrar el *alón en la portería». El contexto de *portería* se integró de forma tan rápida, que los oyentes creyeron que habían escuchado claramente la palabra *balón*. El mismo tipo de interpretación rápida funciona para resolver ambigüedades sintácticas.

Mientras que las ambigüedades en la señal del habla han de investigarse con estímulos del lenguaje hablado, los investigadores que estudian la resolución de la ambigüedad sintáctica usan habitualmente medidas del tiempo de lectura para poner a prueba sus hipótesis sobre cómo alcanzamos la interpretación correcta de las ambigüedades. Presentando frases escritas, los investigadores pueden medir el tiempo de lectura de cada palabra (por ejemplo, utilizando un aparato que registra los movimientos oculares del lector) y de ese modo averiguar en qué punto una frase se vuelve difícil de comprender (los ojos se detienen). Tener una medida de la dificultad en cada punto de una frase es importante para entender las ambigüedades, ya que las pautas de lectura pueden revelar *cuándo* los lectores han interpretado mal una frase ambigua. Como acabamos de ver, las ambigüedades estructurales son temporales y duran tan solo hasta que una parte posterior de la frase aclara la interpretación que se pretende. Éste es habitualmente el caso en la comprensión del lenguaje. Por ejemplo, analicemos estas frases:

1. Pedro conoce a Susana... (Estructura: ambigua)
2. Pedro conoce a Susana de un campamento de verano. (Estructura: sujeto- verbo-objeto directo-frase preposicional)
3. Pedro sabe que Susana está mintiendo (Estructura: sujeto-verbo-[frase [sujeto-verbo]])

La frase 1 contiene una ambigüedad estructural temporal referente a la interpretación de *conoce*[1] y, por lo tanto, de cualquier palabra que pueda venir después. *Conoce*

[1] En inglés, *to know* puede significar saber o conocer (*N. del T.*).

puede significar «identificar una persona o cosa como una determinada» y podemos interpretar la palabra de ese modo, en cuyo caso lo que sigue en la frase es simplemente un sustantivo que indica quién es reconocido. La frase 2 asume esta interpretación: *Susana* es el objeto o complemento directo de *conoce* y la frase significa que Pedro identifica a Susana como a alguien que conoció en un campamento de verano. De forma alternativa, *conocer* puede significar saber o ser consciente de que algo es cierto, en cuyo caso lo que sigue a conoce o sabe generalmente es una frase completa incluida que afirma dicha verdad. La frase 3 es de este tipo y Susana es el sujeto de la frase incluida «Susana está mintiendo».

El punto en la frase en el cual la estructura, y por lo tanto, la interpretación que se pretende se hace clara, se conoce como la **región de precisión**. En la frase 2, la región de la precisión es «de un campamento de verano»; en la frase 3, es «está mintiendo». La observación de los tiempos de lectura en la región de precisión puede revelar las dificultades de comprensión causadas por las ambigüedades. Los sujetos que leen una frase ambigua y después encuentran una región de precisión que no coincide con su interpretación inicial son más lentos en la región de precisión (sus ojos se fijan en esta región durante más tiempo). En ese punto se dan cuenta de que se han «metido en un jardín» y tienen que volver a analizar la frase, lo que precisa más tiempo (Rayner y Pollatsek, 1989).

Los investigadores han considerado dos hipótesis generales sobre cómo realizamos suposiciones iniciales sobre las frases temporalmente ambiguas, y estas implican, como en otros problemas de comprensión que hemos discutido, diferentes cantidades de información de abajo a arriba y de arriba a abajo. Una hipótesis sostiene que una estructura sintáctica se elige primero tan solo con información de abajo a arriba y sólo más tarde se contrasta con información de arriba a abajo (Frazier, 1987). De acuerdo con esta idea, un componente del sistema de la comprensión del lenguaje, el *parser* (analizador sintáctico), toma la señal de entrada hablada o escrita y construye una organización sintáctica para la frase entrante, de forma muy parecida al árbol mostrado en el nivel sintáctico de la Figura 12-1. Cuando se encuentra una ambigüedad estructural, el árbol se puede construir de dos o más maneras, de forma que el *parser* elige la opción más simple, aquella con el menor número posible de nódulos y ramas. En el caso de la frase ambigua sobre Pedro y Susana, frase número 1, la primera interpretación es la estructura de complemento directo tal como en la frase 2, debido a que ésta es más simple que la estructura de frase incluida de la frase 3. Como resultado, cuando se encuentra *Susana*, se interpreta inmediatamente como objeto directo. Esta elección se realiza inicialmente independientemente de cualquier contexto e incluso del significado de las palabras de la frase. En una segunda fase de comprensión, si el significado no tiene sentido con la estructura elegida por el *parser*, nos damos cuenta de que se nos ha «metido en un jardín» y precipitadamente nos batimos en retirada.

La hipótesis del *parser* sugiere que las estrategias para resolver las ambigüedades de la estructura de la frase son muy diferentes de la resolución de la ambigüedad léxica. Tan solo una estructura de la frase se considera cada vez, mientras que hemos visto con anterioridad buenas evidencias de que diferentes interpretaciones de una palabra ambigua se activan durante la resolución de una ambigüedad léxica. La diferencia viene de diferentes concepciones del léxico y de la sintaxis —los significados de las palabras se almacenan en el léxico, pero las estructuras sintácticas se generan de nuevo cada vez que se escucha una frase—. Así pues, desde el punto de vista computacional no es gravoso activar diferentes alternativas del significado de

una palabra, pero se piensa que es demasiado difícil construir diferentes estructuras alternativas de forma simultánea en el tiempo que generalmente empleamos para entender una frase.

La hipótesis alternativa es que hacemos frente a las ambigüedades en la estructura de la frase básicamente del mismo modo en el que nos enfrentamos a las ambigüedades léxicas (McDonald *et al.*, 1994; Trueswell y Tanenhaus, 1994). Bajo este enfoque, la solución de la ambigüedad sintáctica es un juego de suposiciones guiado tanto por la información de arriba a abajo como de abajo a arriba. Los defensores de este enfoque resaltan que las ambigüedades estructurales implican también ambigüedades léxicas, como en los significados alternativos de «identificar a» y «admitir que» para la palabra *reconocer* en las frases 1-3. Este tipo de ambigüedad léxica, al igual que otras ambigüedades léxicas, deberían producir la activación de significados alternativos de la palabra que dependen parcialmente de lo frecuente que sean dichos significados alternativos y del contexto. Del mismo modo que las ambigüedades léxicas, los efectos del contexto en la solución de la ambigüedad estructural tenderán en circunstancias normales a ser más débiles que la información de abajo a arriba. Este enfoque es atractivo debido a que hace énfasis en la naturaleza entrelazada de la palabra y en los niveles sintácticos de las representaciones del lenguaje, y permite una caracterización consistente de la solución de la ambigüedad en muy diferentes niveles: tanto si es una ambigüedad en el nivel de la señal hablada, como en el significado de la palabra, en la estructura de la frase, o alguna combinación de éstas, el sistema de comprensión integra rápidamente de forma inconsciente cualquier información que pueda, para interpretar el *input* del modo que mejor encaje con las evidencias disponibles.

Los investigadores están trabajando actualmente para probar estas dos hipótesis, pero según se escribe esto, el jurado aún está deliberando.

## 2.6. Lenguaje figurativo

El lenguaje **figurativo** es ambiguo por definición, ya que consiste en el uso deliberado de una palabra para significar otra bien mediante metáfora o por similitud. Nuestra amiga «pescó» una copia del menú dentro de su mochila, pero el uso de esta palabra no intenta sugerir que se hizo con una caña de pescar, cebó el anzuelo y realizó un enganche espectacular en medio de la bulliciosa acera. En vez de eso, la expresión evoca de una forma concisa una imagen de hurgar dentro de un recipiente en busca de algo. El lenguaje figurativo presenta otro problema de comprensión: debemos decidir si lo que se pretende es un significado literal o figurativo. Al igual que otro tipo de ambigüedades, el lenguaje figurativo es extraordinariamente frecuente en el habla ordinaria: algunos análisis sugieren que los oradores utilizan el lenguaje figurativo unas seis veces por minuto de habla (Pollio *et al.*, 1977). El lenguaje figurativo es especialmente frecuente en las descripciones de emociones y de conceptos abstractos (Gibbs, 1994).

Con mucha frecuencia ni tan siquiera nos damos cuenta de forma consciente que nuestro lenguaje es figurativo. Supongamos que alguien nos dice: «El registro era como el zoo —perdí dos horas y después me dijeron que no tenía los impresos apropiados»—. ¿Cuál es aquí el lenguaje figurativo? Por supuesto, zoo, que se utiliza como una metáfora para evocar una situación multitudinaria y caótica. Además en esta frase existe una segunda metáfora menos obvia: en la frase «perdí dos horas», se

describe el tiempo como si fuera dinero. Las metáforas de este tipo invaden nuestros pensamientos y surgen en una gran cantidad de diferentes expresiones —en este caso relativas al tiempo y al dinero, tenemos expresiones metafóricas relativas a perder el tiempo, emplear el tiempo, ahorrar el tiempo, reservar tiempo e invertir tiempo—.

El lenguaje figurativo ocupa nuestro habla hasta tal punto que es tentador considerarlo como otro ejemplo, aunque como un caso especial, de los múltiples significados de las palabras y de las frases. Sin embargo, datos neuropsicológicos nos dicen que hay algo más en esta cuestión. Aun cuando muchas regiones del hemisferio izquierdo son decisivas para la mayoría de los aspectos de la comprensión del lenguaje, la interpretación del lenguaje figurativo parece basarse en mayor grado en el procesamiento de la información que realiza el hemisferio derecho. Los pacientes con lesión en el hemisferio derecho suelen tener dificultades particularmente para entender el lenguaje figurativo. Y los estudios de neuroimagen han demostrado que en los sujetos normales se da un mayor grado de activación del hemisferio derecho mientras comprenden metáforas que mientras comprenden el lenguaje literal (Bottini *et al.*, 1994).

Aún no se sabe con exactitud cuál es el papel que desempeña el hemisferio derecho en la comprensión del lenguaje figurativo, pero ha de tener relación con la interpretación de la **entonación** de la frase, la «melodía» de la frase —la subida y bajada del tono, las variaciones del acento—. Pensemos en la frase «Juan es realmente un buen muchacho»: al pronunciarla con diferentes entonaciones podemos hacer de esta frase una afirmación en sentido literal, una pregunta, un comentario sarcástico que indica que pensamos que Juan realmente no es nada bueno en realidad. El hemisferio derecho está muy involucrado en la interpretación de la entonación de la frase (Buchanan *et al.*, 2000). ¿La conexión? el sarcasmo, la ironía, las bromas y algunos otros tipos de lenguaje figurativo se basan frecuentemente en la entonación. Pero el papel del hemisferio derecho en la interpretación del lenguaje figurativo no puede basarse por completo en un análisis detallado de la entonación, dado que juega un papel similar en la interpretación del habla y de la escritura (y no existe entonación en la expresión escrita).

## 2.7. Lectura

Cuando no pudimos entender lo que estaba diciendo nuestra amiga, nos dio una copia del menú, de forma que pudiéramos ver la dirección del restaurante donde trabajaba. El nombre del restaurante, «El cerdo feliz», y el dibujo del cerdo estaban en la parte superior del menú. Identificamos muy rápidamente el dibujo como un cerdo y leímos, también muy rápidamente, las palabras *El cerdo feliz*. Los procesos que nos permitieron identificar el cerdo —esto es, los procesos de reconocimiento de objetos descritos en el Capítulo 2— incluyen el colocar en conjunción información perceptiva procedente del dibujo tales como las áreas de luz y de sombra y la localización de ángulos, de forma que se identifique el objeto. Dicho con otras palabras, usamos la información visual contenida en el dibujo, para activar la información semántica —en este caso el significado «un cerdo con un mandil y llevando una fuente de comida»—. Al igual que con la interpretación de un dibujo, el objetivo de la lectura es traducir la información visual —las palabras contenidas en la página— en información semántica sobre el significado de las palabras y del texto.

### 2.7.1. Rutas de lectura

Al pensar sobre la tarea de traducir lo impreso a su significado es útil que nos refiramos otra vez al modelo triangular del léxico en la Figura 12-7. Obsérvese que hay dos rutas posibles desde la palabra impresa a su significado. La primera es ortografía significado: la vía desde la ortografía de la palabra impresa en el extremo inferior izquierdo del triángulo hasta el significado en la parte superior, una vía mucho más probable para el reconocimiento de los objetos. En ambos casos, tomamos información sobre las pautas de luz y oscuridad en la página, los ángulos y otras características, y relacionamos este *input* visual con representaciones almacenadas del significado. La ruta alternativa es ortografía → fonología → significado: lo impreso se relaciona, en primer lugar, con la representación fonológica (es decir, existe una cartografía entre los dos puntos inferiores del triángulo) y después el código fonológico se vincula con el significado, al igual que en la percepción del habla. Cuando leemos, podemos llegar a tener la sensación de que una voz en el interior de nuestra cabeza nos está diciendo las palabras; este efecto parece ser el resultado de la activación de códigos fonológicos de lo impreso según leemos. Claramente, esta ruta fonológica se utiliza cuando decimos en voz alta una palabra no familiar —la ortografía se traduce en pronunciación. La ruta fonológica es la base del «método fonético» de enseñanza de la lectura—. Si recordamos cuando se nos decía explícitamente cómo pronunciar palabras cuando estábamos aprendiendo a leer, éste es el modo en el que se nos enseñó. Ahora que somos lectores experimentados, ¿seguimos pronunciando en voz alta las palabras u obviamos la pronunciación y utilizamos la ruta ortografía → fonología → significado?, ¿cuánta información fluye a través de cada una de estas dos rutas alternativas?

Es difícil responder a estas preguntas simplemente reflexionando sobre ellas, debido a que la lectura es tan rápida y automática cuando la mayoría de los lectores alcanzan la vida adulta. Las preguntas son, pues, un tópico de la investigación y las respuestas han cambiado espectacularmente durante las últimas décadas (Rayner *et al.*, 2001). Muchos investigadores pensaban en un principio que los lectores experimentados utilizaban únicamente, o al menos deberían hacerlo, la vía ortografía → significado. Pensaban que una vez que los lectores tenían práctica suficiente y ya no necesitaban decir en voz alta las palabras, la lectura mediante la ruta ortografía → fonología → significado añadía un paso extra innecesario que podría hacerlos más lentos.

Otros investigadores han adoptado puntos de vista muy diferentes sobre el proceso de lectura. Han observado que aunque la vía ortografía → significado parece ser convenientemente corta en el modelo triangular, de hecho la cartografía entre la ortografía y el significado es arbitrario. Insistiremos en ello, no hay nada en las letras G, A, T, O que se parezca en algo a un gato. Calcular estas cartografías arbitrarias es relativamente difícil, pero la cartografía entre la ortografía y la pronunciación tiene muchas pautas regulares que hacen más fácil este cálculo mental. Por ejemplo la letra *C*, en inglés, se pronuncia con frecuencia con un sonido similar al de la [k], como ocurre en la palabra *cat*. Una vez que está completo este cálculo, todo lo que queda es la cartografía entre la fonología y el significado. Es cierto que esta relación es también arbitraria, pero es una ruta que ya se ha practicado mucho y que ya utilizan para la percepción del habla los niños que están empezando a leer.

De acuerdo con este enfoque, no hay motivo para creer que la lectura mediante la ruta fonológica es algo más lenta que la lectura mediante la ruta directa desde la ortografía al significado. También es importante recordar que aquí las «rutas» no son

mutuamente excluyentes, y en los modelos de redes neurales que implementan las ideas subyacentes al modelo triangular, las representaciones del significado pueden recibir la activación simultáneamente directamente de la ortografía y a través de las rutas ortografía → fonología (Seidenberg y McClelland, 1989). Así pues, es posible integrar estas dos posiciones y suponer que ambas rutas se pueden utilizar en varios grados y que la extensión en la cual una vía domina a la otra en un momento determinado puede depender de varios factores, entre los que se incluyen la capacidad del lector y las propiedades de la palabra que ha de leerse.

Por supuesto, los argumentos para rutas diferentes son difíciles de evaluar sin datos. Un estudio diseñado para investigar la extensión en la cual se utiliza la fonología en la lectura, hace que los sujetos realicen juicios sobre los significados de las palabras (Van Orden, 1987). La tarea se organizó de manera tal que el modo más rápido y preciso para realizarla era utilizar la vía ortografía → significado, haciendo caso omiso de la fonología. La lógica del experimento era que si los efectos de la fonología aparecían en una tarea para la cual no resultaban de utilidad e incluso podrían ser contraproducentes, entonces esto sería una buena prueba de que los lectores se basan mucho habitualmente en la vía ortografía → sonido → significado. En concreto, los sujetos leían primero el nombre de una categoría general tal como COMIDA o ANIMAL en una pantalla. Posteriormente se quitaba el nombre de la pantalla y aparecía una nueva palabra. A los sujetos se les había enseñado a presionar una tecla tan rápidamente como fuera posible, para indicar si la nueva palabra era o no un miembro de dicha categoría. Por ejemplo, para la categoría COMIDA, los sujetos debían presionar una tecla etiquetada como SÍ para la palabra *meat* (carne); pero si aparecía la palabra *heat* (*calor*) debían presionar una tecla etiquetada como NO. En algunas pruebas aparecían palabras homófonas tales como *meet* (encuentro). (Éstas son palabras que se pronuncian del mismo modo que otras, pero cuya ortografía es diferente). Los sujetos que vieron la categoría COMIDA y la palabra *meet* debían responder NO, pero algunos sujetos presionaron la tecla SÍ y a la mayoría les llevó largo tiempo realizar sus juicios. Los resultados señalan el uso de los sujetos de la ruta ortografía > fonología > significado: la ortografía de *meet* activó la fonología de la palabra y se utilizó la fonología para activar el significado. Debido a que la fonología cartografía dos significados diferentes, uno de los cuales es una comida y otro no lo es, los sujetos tienen mayor dificultad para dar una respuesta correcta.

Este resultado muestra la importancia de la ruta ortografía → fonología → significado en la lectura, pero no significa que el camino ortografía → significado no se use también. Es posible que esta ruta pueda variar en alguna extensión entre lectores o para diferentes palabras, una hipótesis que fue comprobada con una tarea de enjuiciamiento del significado similar a la que se acaba de describir (Jared y Seidenberg, 1991). Los investigadores encontraron que la interferencia homófona, como la que se ha usado con la palabra *meet*, se limitaba a palabras relativamente poco frecuentes en el lenguaje y no ocurría para palabras que se utilizan con mayor frecuencia. Interpretaron que este resultado indicaba que el grado en el cual se utiliza el camino ortografía → significado depende de la cantidad de práctica que han tenido los lectores con dicho camino. Para palabras muy frecuentes, para las cuales los lectores tienen mucha experiencia, la ruta ortografía → significado se utiliza de forma intensiva; los lectores tienen menor práctica con palabras menos frecuentes y, por lo tanto, para dichas palabras se apoyan más en la cartografía ortografía → fonología y a partir de aquí buscan el significado.

Los estudios de neuroimagen han proporcionado datos que corroboran esta teoría sobre cómo las personas utilizan diferentes rutas de lectura. Se ha utilizado la técnica de RMf para examinar el grado de actividad cerebral de lectores, de muchas edades y con muy diferentes niveles de capacidad lectora, cuando leían tipos de palabras muy diferentes (Pugh *et al.*, 2001). Estos estudios indican que dos áreas distintas del hemisferio izquierdo son decisivas para una lectura fluida. Una de ellas se encuentra en las áreas temporoparietales del cerebro, cerca de regiones que son importantes para procesar el significado de las palabras y la fonología. La otra área es el sistema occipitotemporal (véase la Figura 12-10). Los investigadores sugirieron, por lo tanto, que cuándo aprendemos a leer, predomina inicialmente el sistema temporoparietal y éste es responsable del aprendizaje de las relaciones en la ruta ortografía → fonología → significado. El sistema occipitotemporal se desarrolla más tarde y llega ser más importante a medida que aumenta la capacidad lectora. Parece ser que dicho sistema relaciona directamente la información visual (esto es, la ortografía) con la información sobre el significado. Es demasiado pronto para decir de forma definitiva cómo estas regiones cerebrales se relacionan con las rutas ortografía → fonología → significado y ortografía → significado, tal como se presentan en el modelo triangular, pero las investigaciones con RMf ofrecen un modo apasionante de conseguir avanzar en el conocimiento sobre la naturaleza del procesamiento de la información que subyace a la lectura.

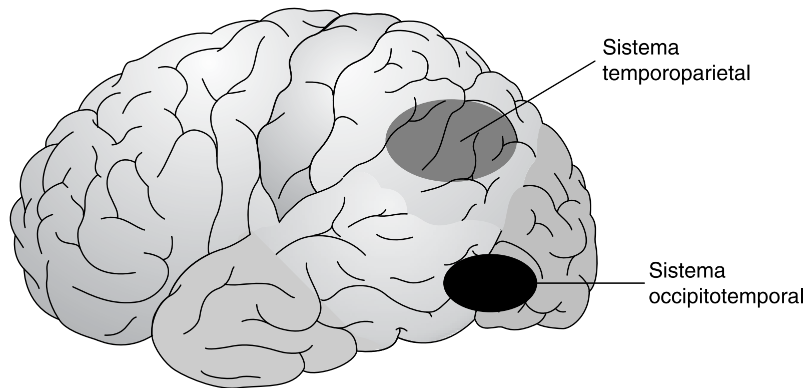



**FIGURA 12-10** Regiones del cerebro importantes para la lectura

La lectura —esto es, cartografiar el paso de la ortografía a la fonología y el significado— depende de un sistema cerebral temporoparietal, por el que se aprende la relación ortografía → fonología → significado; y de un sistema occipitotemporal, que se desarrolla más tarde a medida que aumenta la capacidad lectora, el cual relaciona la información visual (la ortografía) con el significado.

(Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R. *et al.*, Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biol Psychiatry*, 2002; *52*, 101-110. Reimpreso con autorización de Elsevier).

## 2.7.2. Texto relacionado

Una parte principal de la lectura es el reconocimiento de palabras individuales y la interpretación de frases, pero la lectura implica más que esto si hemos de encontrar sentido a éste o a cualquier otro texto conectado. Lo que vemos delante de nosotros no es una frase, sino muchas frases conectadas. ¿Cómo comprendemos cantidades extensas de texto?

Lo primero que debemos puntualizar es que existe un aspecto motor en el acto de la lectura: movemos nuestros ojos a través de la página, de forma que podemos ver todas las palabras. Estos movimientos oculares ocurren en saltos rápidos llamados **sacudidas oculares**[2], que se alternan con períodos en los cuales nuestros ojos están quietos mientras nos fijamos en algún punto específico del texto. Aproximadamente un 90% del tiempo de lectura se emplea en la fijación, y podemos realizar dos o tres sacudidas oculares cada segundo hacia nuevas partes del texto. Cuando nos estamos fijando en una palabra, la imagen de dicha palabra recae en la fóvea, la parte de la retina con mayor agudeza visual. Cuanto más lejos de la fóvea recaiga la imagen, peor será la agudeza visual. La frase que figura más abajo tiene una palabra impresa en negrita. Cuando nos fijamos directamente en esta palabra su imagen caerá en nuestra fóvea. Ahora, *mientras mantenemos nuestros ojos sólo sobre la palabra en* negrita, intentemos identificar las otras letras en la frase:

Tyc amksp virus roz ulvdp **andar** gehd thc pqzy gvlwn ckg.

Sin tuviéramos cuidado en mantener nuestros ojos en **andar** y no fijarnos en ningún otro sitio de la línea, probablemente encontraríamos que podríamos identificar o suponer razonablemente bien qué letras se encuentran justo antes o después de esta palabra, pero que las letras más distantes eran simples borrones. Una pregunta obvia sobre este ejemplo: ¿Por qué todas las combinaciones de letras a excepción de **andar** eran palabras sin sentido? La razón es que la mayoría de los sujetos en demostraciones como ésta tienden a echar un vistazo a todo lo que se encuentra en el panel mientras buscan la palabra en negrita. Si hubiéramos hecho esto y la frase hubiera tenido sentido, hubiéramos sido capaces de utilizar el procesamiento de arriba a abajo para ayudarnos a suponer cuáles son las letras situadas a cada lado de **andar**. El hecho de tener palabras sin sentido a cada lado de **andar** redujo el uso de la información de arriba a abajo y nos dio una buena impresión de cuán pobre es realmente nuestra agudeza visual fuera del área de la fóvea.

Muchos estudios sugieren que los lectores experimentados se fijan en la mayoría pero no en todas las palabras cuando están leyendo un material de aproximadamente la misma dificultad que tiene este libro de texto. Algunas palabras, especialmente las largas, se fijan más de una vez y algunas palabras cortas se pueden percibir incluso cuando no se fijan directamente. La palabra *el* no se fija con mucha frecuencia; es lo suficientemente corta (y lo suficientemente frecuente) como para que pueda ser percibida incluso si la fijación se realiza en las cercanías. Más aún, cuando se fija una palabra, el movimiento de los ojos hacia ella se planifica con frecuencia de forma precisa de tal modo que la fijación se lleva a cabo en la mitad de la palabra, de forma que toda o la mayor parte de la palabra es claramente visible en una única fijación. Esto pone de relieve la interesante cuestión de cómo somos capaces de planificar nuestros movimientos oculares para saltar ciertas palabras y enfocarnos precisamente en la mitad de otras, si aún no hemos leído el texto y no sabemos lo que viene a continuación. Dicho de otra manera, ¿cómo podemos saltarnos la palabra *el*, si aún no la hemos visto?

La respuesta es que en algunos casos utilizamos información de arriba a abajo procedente de nuestro conocimiento general acumulado sobre el vocabulario de nuestro idioma y la estructura de las frases para guiar nuestra planificación de los movimientos oculares. También conseguimos una gran cantidad de información de abajo a

[2] Movimientos sacádicos o de búsqueda de los ojos (*N. del T.*).

arriba procedente del texto. Se ha comprobado que incluso cuando los lectores tienen una clara imagen de aproximadamente sólo seis caracteres alrededor del punto de fijación, pueden conseguir algunas características visuales groseras de las letras y palabras que se encuentran separadas a una distancia de entre siete y 12 caracteres. Volvamos a mirar la frase sin sentido que figura más arriba. Mientras que nos fijamos en **andar**, tratemos de ver la forma de la segunda «palabra» a la derecha. Probablemente encontremos que podríamos identificar, si no las letras exactas, si al menos que se trataba de una «palabra» corta que comenzaba con algunas letras altas. Este tipo de información parcial no es suficiente para una perfecta identificación de las palabras por venir, pero es suficiente para permitir a los procesos de programación de los movimientos oculares suponer que la palabra *el* esta próxima y, en ocasiones, saltarla.

### 2.7.3. Lectura rápida

Como lectores capacitados, podemos leer muy rápidamente, identificando en cada *segundo* muchas palabras. Muchas personas que deben realizar una gran cantidad de lectura con frecuencia desearían poder leer incluso más deprisa e invierten en cursos de «lectura rápida». ¿Funciona el aprendizaje de la lectura rápida? No, no realmente.

Cada programa de lectura rápida es algo diferente, pero la mayoría realiza asunciones similares sobre cómo funciona o debería funcionar la lectura. Una asunción común —y desfasada— se relaciona con el modelo triangular: los programas de lectura rápida sugieren con frecuencia que la lectura eficiente debería relacionar directamente la ortografía con el significado, evitando la ruta de la pronunciación. Éstos programas sugieren que los lectores han caído en el hábito perezoso de activar la pronunciación mientras que leen y que podrían mejorar de gran manera su velocidad de lectura si eliminaran esta fase «extra» y leyeran a través de la ruta directa de la ortografía → significado. Como hemos visto, este enfoque dominó previamente la enseñanza de la lectura a los niños, pero ahora existe buena evidencia de que la activación de la pronunciación es de hecho un componente natural de una lectura capacitada.

La mayoría de las instrucciones para la lectura rápida también anima a los lectores a mover sus ojos a través de la página con mayor rapidez. Debido a que es imposible programar y ejecutar sacudidas con mayor velocidad que a nuestra tasa natural, el único modo de ir a lo largo de la página de forma más rápida es realizar sacudidas mayores. Pero esto no ayuda: debido a que las palabras situadas fuera de la región de la fóvea no se perciben bien, la consecuencia de sacudidas oculares mayores es que algunas palabras no se fijarán nunca, o puede que incluso no estén nunca cerca del punto de fijación y que, por lo tanto, no puedan ser vistas. En otras palabras, la lectura rápida es muy parecida a hojear el texto, pasamos con rapidez por unas zonas y evitamos otras.

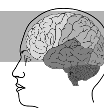
Se han comparado las pautas de lectura y la capacidad de comprensión de lectores rápidos con experiencia con las de estudiantes universitarios que no han tenido la experiencia de lectura rápida (Just y Carpenter, 1987). Los estudiantes universitarios leyeron textos de dos formas diferentes. En una condición, se les instruyó para leer el texto; en la otra se les instruyó para que lo hojearan. Los investigadores encontraron que los movimientos oculares de los lectores rápidos fueron muy similares a los de los estudiantes universitarios cuando éstos hojearon el texto.

El estudio también exploró el efecto de pasar los ojos por encima del texto en el entendimiento del material por los sujetos. (Un reclamo importante de los programas

de lectura rápida es que la velocidad de lectura se puede incrementar con sus técnicas sin sacrificar la comprensión). Con textos fáciles, estos tres grupos —lectores rápidos, personas que hojean el texto y lectores normales— fueron igualmente exactos. Con material más difícil, sin embargo, los que hojearon el texto y los lectores rápidos tuvieron una comprensión más pobre que los estudiantes universitarios que leyeron normalmente. Estos resultados apoyan todo lo que hemos visto sobre la comprensión: básicamente, que es un proceso con múltiples facetas en el cual están integrados, unos en otros, múltiples niveles diferentes de información. Saltar de una parte a otra del material, tanto mediante un vistazo general o siguiendo un método de lectura rápida, lleva inevitablemente a perder partes clave del contexto y de otra información que es crucial para conseguir una representación exacta del significado del material.



*Control de comprensión*



1. ¿Por qué creen los investigadores que cuando se escucha el habla, consideramos inicialmente muchas palabras posibles (una cohorte) y posteriormente rechazamos las posibilidades que no coinciden?
2. ¿Cuál es la relación entre el modelo triangular del léxico y los métodos fonéticos y de palabra completa de aprendizaje de la lectura?

# 3 Procesos de producción del lenguaje

Nos encontramos en un examen, cuando se nos cae el bolígrafo y rueda hasta la próxima fila de asientos. Damos una palmada en el hombro a la persona que se sienta delante nuestro y le decimos: «¿Podría coger mi bolígrafo, por favor? Está debajo de su silla». Acabamos de realizar sin esfuerzo una proeza compleja. Hemos aceptado el objetivo de recuperar nuestro bolígrafo, una abstracción que inicialmente no tiene ningún lenguaje asociado, y hemos convertido dicho objetivo en una representación lingüística y posteriormente en una serie de movimientos musculares para articular las palabras. (Esto es similar al modo en el que convertimos un objetivo motor —levantar una pluma— en una serie de movimientos tal como se explicó en el Capítulo 11). Existen muchas formas diferentes en las que podíamos haber traducido este pensamiento en lenguaje —quizá «Se me ha caído el bolígrafo debajo de su asiento. ¿Me haría el favor de recogerlo?» o bien «Por favor, ¿me puede dar el bolígrafo que ha rodado debajo de su asiento?»—, pero, por algún motivo, elegimos esa forma particular de expresión. El estudio de la producción del lenguaje significa el estudio de los procesos mediante los cuales convertimos los pensamientos no lingüísticos en lenguaje y posteriormente desarrollamos un plan de expresión oral.

Comparado con lo que hemos aprendido sobre la comprensión del lenguaje, sabemos relativamente poco sobre cómo los seres humanos producen el lenguaje, primordialmente debido a diversos retos metodológicos. En los estudios de comprensión, los investigadores habitualmente presentan estímulos de lenguaje y miden variables tales como el tiempo de comprensión, la exactitud y las pautas de las activaciones cerebrales. Las medidas de estas variables pueden ser muy precisas, en parte porque podemos

controlar exactamente cuándo se presenta el estímulo y podemos temporizar nuestras medidas a partir de dicho instante. En la producción de lenguaje, sin embargo, el comienzo del proceso es la creación de un conjunto de representaciones internas no lingüísticas, tales como aquellas que subyacen tras nuestro deseo de recuperar la pluma. Este tipo de diferentes puntos de inicio es un auténtico reto para los investigadores, debido a que es mucho más difícil tener un control preciso del experimento. En realidad, gran parte de la investigación inicial sobre la producción de lenguaje no fue experimental, sino que fueron observaciones en las que se registraban los errores en la producción de lenguaje por parte de quienes hablaban. También es posible examinar errores durante la producción de lenguajes gesticulares y de lenguajes escritos (manuscritos o mecanografiados). No obstante, la inmensa mayoría de la investigación se ha realizado sobre los errores durante el habla, debido en parte a la facilidad con la que se pueden observar los errores del orador.

Uno de los primeros investigadores en utilizar este método fue Victoria Fromkin (1923-2000), una especialista en lingüística que argumentaba que las pautas de los errores que realizan los oradores indican los procesos subyacentes de producción de lenguaje (Fromkin, 1971). Llevaba siempre consigo una pequeña libreta de notas y siempre que escuchaba un error en el habla, la sacaba y escribía tanto el error como la expresión que se había pretendido hacer. Las conexiones de errores que Fromkin y otros investigadores recogieron pusieron de manifiesto que las pautas de errores del habla no son aleatorias sino que se agrupan de formas específicas. Estas pautas de errores dieron lugar a algunos de los primeros datos sobre los procesos de producción del lenguaje.

Los **errores de intercambio** ocurren cuando dos elementos de una frase se trasponen. En los **errores de intercambio de palabras,** tal como «*escribí una madre a mi carta*» y «*sintonizo a tender*», se intercambian los lugares de las palabras en una frase. Las palabras que se intercambian habitualmente forman parte de la misma clase gramatical. Así, los sustantivos se intercambian con sustantivos, los verbos con verbos y así sucesivamente. Las palabras que se intercambian, frecuentemente están muy distantes dentro de la frase. En contraposición, los errores de **intercambio por sonido**, en los cuales se cambia la posición de dos sonidos, ocurren habitualmente en palabras próximas, a partir de posiciones similares dentro de las palabras. Estos errores suelen llamarse *spoonerismos,* aludiendo al reverendo William Archibald Spooner, decano del *New College* en la Universidad de Oxford desde 1903 hasta 1924, cuya habla estaba plagada de estos errores. Entre ellos se incluyen estas posibles reprimendas apócrifas a los estudiantes: *«Ha **saltado** usted a todas mis clases»* o *«Ha **cardado** usted mucho tiempo».*

El muy diferente carácter de los errores de intercambio de palabras y de sonidos fue una evidencia temprana importante en el desarrollo de modelos de producción del lenguaje, tales como los que se muestran en la Figura 12-11 (Garrett, 1975; Levelt, 1989). En este modelo, los procesos de producción pasan a través de tres niveles diferentes antes de llegar a la articulación. En primer lugar, en el **nivel del mensaje**, el orador (o el escritor) formula el mensaje que se ha de transmitir. En ese momento, el mensaje todavía es no lingüístico, sin tener asociadas palabras ni estructura de la frase: un ejemplo es nuestro deseo de recuperar el bolígrafo. La siguiente fase, la **codificación gramatical**, contiene dos procesos diferentes. Un proceso implica la elección de las palabras que utilizaremos para enviar el mensaje, el otro implica el desarrollo de la estructura sintáctica de la frase que se va a pronunciar. Toda esta información se

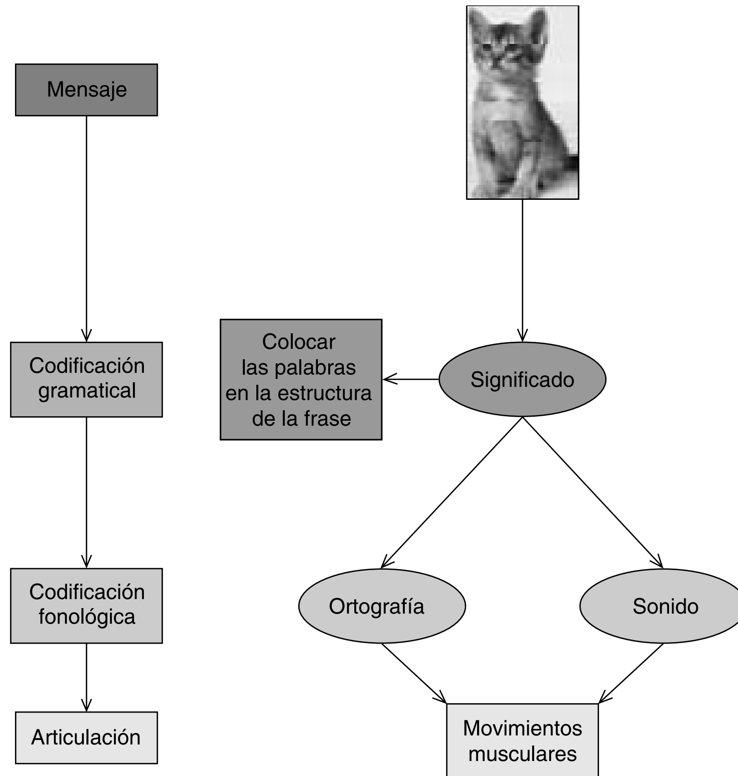



**FIGURA 12-11** Etapas de la producción de lenguaje

A la izquierda se denominan las etapas. En la parte derecha de la figura se indica la información que se representa en estas etapas y las acciones que tienen lugar durante ellas. Obsérvese que el modelo triangular del léxico (con flechas que señalan tan solo los procesos de producción del lenguaje) está incluido en la codificación gramatical y la fonológica.

pasa a otra fase, la **codificación fonológica**, en la cual se desarrolla la representación fonológica de la pronunciación. Finalmente, se articula el mensaje. Veamos algunas de estas fases con mayor detalle.

## 3.1. Codificación gramatical

El proceso de elección de las palabras durante la producción de lenguaje, un aspecto de la codificación gramatical, implica el relacionar la información semántica en el nivel del mensaje con palabras individuales contenidas en el léxico. Las investigaciones sobre producción del lenguaje se han centrado en cómo estas representaciones semánticas se traducen en la elección de palabras en particular. Por ejemplo, cuando estamos intentando recuperar nuestro bolígrafo podemos decir tanto que se encuentra bajo el asiento, como bajo la silla que está frente a nosotros. Ambas son elecciones razonables dado el tipo de muebles y el mensaje que estamos intentando transmitir. Esto sugiere que el significado de nuestro mensaje activa en parte estas dos opciones posibles y habitualmente se elige aquella con una mayor activación. En ocasiones se seleccionan ambas palabras, lo que resulta en un error que es una mezcla de dos palabras diferentes, como puede ser: «Mi bolígrafo está bajo sus asentaderas, perdón, su

asiento». (Freud creía que los errores de este tipo de reflejaban pensamientos o deseos reprimidos. Así, si en inglés se mezclaran las palabras *chair* (silla) y *seat* (asiento) y se dijera la palabra *cheat* (trampa), Freud hubiera interpretado que creíamos que la otra persona —o quizá, nosotros mismos— podía intentar hacer trampas en el examen). Los errores embarazosos como éste reciben con frecuencia el nombre de ***lapsus*** freudianos. Al parecer, algunos de estos errores provienen de pensamientos que los oradores no pretenden pronunciar, pero la mayoría refleja el funcionamiento básico del sistema de producción de lenguaje más que nuestros motivos ocultos.

Otro aspecto de la codificación gramatical es el desarrollo de una estructura sintáctica para la expresión hablada o escrita. Al igual que en el caso de elección de las palabras, miríadas de diferentes estructuras de frase cumplirían la función de transmitir la mayoría de los mensajes. ¿Cómo realizamos una única elección? Resulta que una gran parte de la toma inconsciente de la decisión sobre la estructura de la frase depende de la elección de las palabras, específicamente de cuán rápidamente somos capaces de determinar las diferentes palabras que irán en la frase. El proceso de elección de las palabras comienza al mismo tiempo para muchas de ellas y así mientras que se activan *silla* y *asiento*, también lo hace *pluma* y, probablemente, *coger* y *dar* están compitiendo una con otra.

Pero incluso cuando el proceso de elección de las palabras comienza aproximadamente al mismo tiempo para un cierto número de ellas, no termina necesariamente al mismo tiempo para todas las posibilidades. Existe una gran variedad de motivos por los cuales la elección de una palabra puede ser más rápida o más lenta en diferentes momentos o para diferentes palabras. Por ejemplo, ciertas partes del mensaje pueden ser más importantes que otras, y por lo tanto las representaciones correspondientes se pueden activar con mayor fuerza. También, las palabras poco usuales pueden tardar mayor tiempo en activarse. Estas variaciones en la **accesibilidad léxica** —la facilidad con la que se puede recuperar una palabra y tenerla dispuesta para la producción— tiene un marcado efecto en la elección de la estructura sintáctica de la expresión. Las palabras que se eligen primero se sitúan al principio de la frase que se va expresar, y la estructura semántica que se desarrolla es aquella que se pueda acomodar a la elección de estas palabras.

Esta influencia de la accesibilidad léxica en la elección de la estructura se demostró en una serie de estudios ingeniosos sobre la producción del lenguaje que se disfrazaron como experimentos sobre la memoria (Bock, 1982). En un estudio, los sujetos describieron dibujos sencillos; se les había dicho que decir en voz alta una frase sobre cada dibujo les ayudaría a recordar mejor los dibujos. La estructura sintáctica que utilizaron los sujetos en las descripciones de los dibujos era el objeto de interés real de la investigación. El ejemplo que se muestra en la Figura 12-12 se puede describir con una frase activa tal como «el rayo está golpeando la iglesia». Bock planteó que la accesibilidad relativa de las palabras *rayo* e *iglesia* afectaría la elección de una estructura sintáctica activa o pasiva y manipuló la accesibilidad de dichas palabras mediante una breve presentación de una palabra de *priming* (sensibilización) que el sujeto simplemente tenía que leer en voz alta antes de que apareciera el dibujo. (Los sujetos no estaban al tanto de la conexión entre la tarea de lectura de la palabra y la producción de la frase). En una condición la palabra de *priming, adoración,* apareció en la pantalla, en otra condición la palabra de *priming* fue *tormenta*. Las descripciones del dibujo que utilizaban frases pasivas tales como «la iglesia está siendo golpeada por el rayo» fueron más frecuentes cuando la palabra de *priming* había sido *adoración* que



**FIGURA 12-12** ¿Por qué decimos las cosas como las decimos?

Dibujos como éste se emplearon en estudios sobre la producción de oraciones. Este dibujo puede describirse tanto en sentido activo («el rayo está golpeando la iglesia»), como en sentido pasivo («la iglesia está siendo golpeada por el rayo»). La elección de los sujetos del primer sustantivo de la frase —y, por lo tanto, de la voz activa o pasiva— dependió de la palabra que efectuó el *priming*, que fue o bien *tormenta* o bien *adoración*. (Bock, J. K. (1982). Toward a cognitive psychology of syntax: Information processing contributions to sentence formulation. *Psychological Review, 89*(1), 1-47. Copyright © 1982 *American Psychological Association*. Reimpreso con autorización).

cuando había sido *tormenta*. La palabra de *priming* había activado previamente cierta información sobre el significado, de forma tal que cuando apareció el dibujo y los sujetos comenzaron a planificar su expresión verbal, la elección de una palabra para el concepto sensibilizado se completó más rápidamente que para el concepto no sensibilizado. Esta palabra elegida en primer lugar, se colocó luego en una posición inicial de la frase que se estaba desarrollando, lo que llevó a elegir una estructura activa o pasiva de la frase, según se precisara.

Colocar las palabras más accesibles en primer lugar tiene ventajas reales en la conversación, permitiendo a los oradores establecer de forma temprana el plan de expresión antes de que hayan sido elegidas todas las palabras. Según se seleccionan las palabras iniciales y se comienza a desarrollar la estructura de la frase, estas palabras tempranas se mueven a la siguiente fase de la producción de lenguaje, la codificación fonológica. Los oradores pueden entonces planificar simultáneamente muchas partes de la frase. Debido a que las primeras partes de la frase son aquellas que encabezan la planificación, dichas partes están dispuestas para ser expresadas mientras que el orador está aún trabajando en las partes posteriores. Esto tiene la ventaja en la conversación de acelerar la réplica: no es preciso esperar a que esté planificado el último detalle de una frase antes de empezar a expresarla.

Esta intercalación compleja de selección léxica y planificación de la estructura de la frase se malogra en ocasiones. Una de las consecuencias pueden ser los errores de intercambio de palabras como en «*escribí una madre a mi carta*». Los errores de este tipo aparecen como el resultado de un error en la inserción de las palabras dentro de

la estructura de la frase y, por lo tanto, no son completamente aleatorios sino que ocurren habitualmente con un tipo particular de palabras. Los sustantivos (tales como *madre* y *carta*) intercambian sus posiciones, los verbos lo hacen con verbos y así sucesivamente.

Otra ruptura puede ocurrir si el orador acaba de expresar todas las partes planificadas de la frase antes de que las partes finales estén completamente dispuestas para ser expresadas. Por este motivo, los oradores se pueden encontrar repentinamente con una falta de palabras (una experiencia frecuente), en cuyo momento se hace más lenta la expresión verbal o se añaden palabras de relleno o vocalizaciones tales como «hum». ¿Recordamos a nuestra amiga diciendo «Es, bien un..., un tipo de sitio de comida asiática en general»? Aquí, ella estaba teniendo problemas al elegir las palabras que describieran adecuadamente este tipo de restaurante novedoso. Comenzó a decir «es» antes de completar la selección y planificación de las palabras, lo que condujo a la inserción de pausas y elementos de relleno mientras que planeaba el resto de la frase y la tenia lista para su articulación.

## 3.2. Codificación fonológica

Según se seleccionan las palabras y se planifican partes de la frase, estos elementos de la expresión se envían hacia la siguiente fase de la producción del lenguaje, la codificación fonológica. Aquí, los oradores recuperan las representaciones de la pronunciación que son necesarias para articular las palabras durante la expresión. Recuerde que las representaciones de la pronunciación son distintas de su significado (otra vez el modelo triangular del léxico).

Realmente, existe una gran cantidad de evidencias en la producción de lenguaje de que la elección de una palabra y la recuperación de su pronunciación son fases diferentes. Habitualmente estos procesos ocurren tan rápidamente que son difíciles de distinguir, pero ocasionalmente es posible aislar cada fase. Un modo de hacerlo es estudiar qué ocurre cuando el orador está teniendo problemas al pensar un nombre u otra palabra que tiene «en la punta de la lengua». Todos hemos tenido esa experiencia en alguna ocasión, y una pequeña reflexión sobre lo que ocurre en estas situaciones revela que el «no poder pensar en la palabra» no es una descripción exacta —a lo que no se puede acceder es a la *pronunciación* de la palabra—. Cuando no podemos pensar en el nombre de alguien, sabemos perfectamente bien de quién estamos hablando. Hemos accedido al componente semántico de la palabra de una forma bastante satisfactoria, pero por alguna razón, tenemos problemas para pasar de la representación semántica a la pronunciación.

Esta situación de tener algo en la punta de la lengua (PDL) entorpece, de ese modo, un proceso que habitualmente es demasiado rápido como para poderse observar con facilidad y proporciona, por tanto, a los investigadores valiosas evidencias sobre cómo procede la codificación fonológica. Obviamente, seguir a los sujetos y esperar a que lleguen a una situación de «tener algo en la punta de la lengua» es una forma muy poco eficiente de recoger esta información y por ello los investigadores han desarrollado un procedimiento para inducir esta situación. (Si el lector quiere intentar consigo mismo, o con sus amigos, una versión breve de este procedimiento, utilice las instrucciones y definiciones que aparecen en la Figura 12-13). En estos estudios, los sujetos leen o escuchan las definiciones de palabras raras e intentan decir la palabra

| Definición | Su respuesta o conjetura |
|---|---|
| 1. Vestidura japonesa con un fajín ancho. | |
| 2. Ilusión en la que parece verse en el desierto una charca inexistente. | |
| 3. Aparato que se utiliza para marcar el tiempo en música. | |
| 4. Mamífero que mata a las serpientes, el personaje principal del cuento de Kipling «Rikki Tikki Tavi». | |
| 5. Reposapiés tapizado grande. | |
| 6. Tipo de árbol gigante de madera roja que crece en el norte de California. | |
| 7. Lente que se coloca sobre un solo ojo para mejorar la visión. | |
| 8. Organismo unicelular que se mueve mediante pseudópodos provisionales. | |

**FIGURA 12-13** En la punta de la lengua

Estas definiciones pueden provocarnos estados de «en la punta de la lengua» (PDL). Intente el lector decir la primera palabra que se ajuste a cada definición. Si cree que sabe la respuesta, pero no se le ocurre la palabra, escriba lo que usted piensa que sabe sobre la palabra, como puede ser su primer sonido o la cantidad de sílabas o una palabra que suene parecido. (Las respuestas se dan en la página 561)

que se define. En ocasiones conocen bien la palabra y en ocasiones no tienen ninguna idea sobre la palabra que se está definiendo. Pero en otras ocasiones el experimentador tiene suerte: el sujeto dice, «Oh, eso es un... hum...» y se encuentra claramente en un estado de tener algo en la punta de la lengua. Entonces el experimentador pregunta el sujeto cosas tales como «¿Me puede decir el sonido con el de comienza la palabra?» o bien «¿Cuantas sílabas cree el lector que tiene esa palabra?». Las personas en una situación PDL pueden informar sobre varias cosas relativas a la pronunciación de la palabra, tales como cuál es el primer o último fonema de la palabra o el número de sílabas, o pueden citar otras palabras que tienen un sonido similar. Este conocimiento parcial de una palabra no es único para los lenguajes hablados: los usuarios sordos de lenguajes gesticulares se encuentran a sí mismos ocasionalmente en situaciones de «tener la palabra en la punta de los dedos». Al igual que los usuarios de lenguajes hablados, los usuarios de los lenguajes por gestos que se encuentran en este estado no pueden encontrar el signo que buscan, pero pueden dar una información parcial sobre dicho signo (tal como el esquema básico del signo que intentan producir), sin llegar a ser capaces de demostrar el movimiento que se precisa para producir el signo (Thompson, Emmorey y Gollan, 2005). Estos resultados sugieren que alguien que se encuentre en una situación PDD (punta de los dedos) conoce ciertamente la palabra y tiene activada una pequeña cantidad de su representación fonológica; también demuestran que la elección de una palabra y la activación de su forma fonológica (tanto para hablar como para gesticular) son procesos diferentes.

Para la mayoría de la gente, los estados PDL son tan sólo una molestia ocasional; una situación más devastadora puede surgir de ciertos tipos de lesiones cerebrales. Por lo contrario a los pacientes con alteraciones semánticas de los que se ha hablado anteriormente, puede parecer que otros pacientes con daño cerebral tienen una información semántica normal pero serias dificultades para recuperar la representación fonológica de las palabras que han elegido para una expresión (Kay y Ellis, 1987). Esta dificultad para nombrar las cosas suele llamarse **anomia,** del griego «sin nombre». La anomia es una consecuencia habitual de lesiones en muchas áreas cerebrales relacio-

nadas con el lenguaje. Los pacientes que padecen anomia pueden mirar a un dibujo y ser incapaces de recuperar una representación fonológica, aun cuando puedan demostrar su entendimiento del significado del dibujo de otras maneras: por ejemplo, un paciente que ve el dibujo de un martillo y no puede recuperar la pronunciación de la palabra, podrá representar la acción de clavar un clavo. La alteración es más frecuente en caso de palabras raras, lo que sugiere que la frecuencia con la cual se utiliza la ruta significado → fonología para una palabra dada, afecta a la facilidad de la recuperación fonológica. Al igual que con los estudios sobre la situación de «en la punta de la lengua» con oradores sin lesión cerebral, la observación de las dificultades de pacientes de anomia sirve para subrayar la distinción entre la elección de la palabra y la codificación fonológica.

De forma no sorprendente, la codificación fonológica es el lugar de nacimiento de los *spoonerismos* y otros errores de intercambio del sonido. Estos sonidos que se intercambian se encuentran habitualmente en palabras cercanas y se sitúan con frecuencia en posiciones similares dentro de las palabras (como puedan ser los primeros sonidos de las palabras) y, por lo tanto, parece ser que representan pequeños problemas técnicos que ocurren cuando diversas palabras se planifican simultáneamente.

## 3.3. Integración de las fases gramatical y fonológica

Sabemos que la información de la codificación gramatical fluye hacia la codificación fonológica; ¿existe alguna evidencia de que la codificación fonológica puede afectar al procesamiento gramatical? En un principio los investigadores supusieron que esta retroalimentación no tenía lugar. Una razón para esta creencia era la naturaleza de las pautas de error que los investigadores observaban en el habla. Los intercambios de palabras parecían ocurrir en grandes distancias y depender del tipo de palabras y no de su pronunciación, mientras que los intercambios de sonido ocurren entre palabras próximas, sin que haya relación en que sean sustantivos, verbos u otro tipo de palabras. Estas pautas sugerían que los intercambios de palabras ocurrían antes de la codificación fonológica y que los intercambios de sonido ocurrían sólo dentro de la codificación fonológica de forma independiente de la codificación gramatical.

Sin embargo, más recientemente han surgido evidencias que apoyan un sistema más interactivo en la producción de lenguaje. Se está haciendo claro que aunque existe una ordenación inicial clara de los acontecimientos en la producción de lenguaje, de tal forma que los oradores, aquellos que utilizan el lenguaje de señas (el Lenguaje de Señas Americano) y los escritores comienzan a ensamblar las frases y elegir las palabras antes de realizar mucho trabajo en la planificación de los movimientos motores que les permitirán hablar, gesticular, escribir o mecanografiar, existe también alguna interacción entre los procesos posteriores y los iniciales. Algunas de las primeras evidencias de esta integración proceden, de nuevo, del análisis de los errores del habla. Los investigadores examinaron un conjunto de errores de intercambio de palabras y tomaron nota sobre si las palabras intercambiadas contenían o no fonemas similares (Dell y Reich, 1981). Por ejemplo, «*esta madre escribo a mi tarde*» es un error en el cual las palabras intercambiadas *(madre y tarde)* tienen un sonido muy parecido, mientras que el error en «*perdió las camisas de los botones*» es un intercambio entre palabras fonológicamente distintas (*camisas y botones*). Este examen revela que las palabras intercambiadas contienen fonemas similares con mayor frecuencia de lo que se puede esperar por simple coincidencia —como se piensa, la similitud de los sonidos

añade confusión y conduce a una mala asignación de las palabras dentro de la frase—. Este resultado indica, primero, que el proceso de codificación fonológica de las palabras se encontraba en marcha mientras que las palabras estaban siendo ordenadas en la frase, y segundo, que dicha codificación fonológica estaba afectando a la ordenación de las palabras en la estructura sintáctica. Por lo tanto, este resultado demuestra una cierta interacción entre la codificación gramatical y la fonológica, debido a que dichos efectos fonológicos en los errores de intercambio de palabras no ocurrirían si la codificación gramatical actuara de forma completamente independiente de la codificación fonológica.

Pruebas similares proceden de experimentos que intentan inducir a los oradores a producir errores de intercambio. En uno de dichos estudios, los sujetos vieron en la pantalla del ordenador frases cortas tales como *condenado pelmazo* (*«darn bore»*) (Baars *et al*., 1975). La tarea de los sujetos era prepararse para decir dicha frase si en unos pocos segundos ésta se reemplazaba por la señal de inicio. En cualquier caso, si la frase era reemplazada por una frase diferente en la pantalla del ordenador (tal como *sopa boba*) los sujetos debían ignorar la frase previa y decir la nueva. En algunos casos, los sujetos vieron muchas frases antes de conseguir una señal de inicio.

Las frases que aparecieron antes de la señal de inicio comenzaban todas con la misma pareja de letras (por ejemplo, da_bo_). Entonces aparecía la señal de inicio y aparecía una frase con las mismas letras iniciales, pero invertidas en este caso (por ejemplo, las que fueron las letras iniciales de la primera palabra eran ahora las letras iniciales de la segunda palabra y viceversa). Después de planificar sus respuestas en base a las series iniciales, los sujetos encontraron difícil el cambio y ahí es donde aparecieron los errores de intercambio. En algunas ocasiones los sonidos invertidos produjeron otro par de palabras: *«darn bore»* se podía convertir en *«barn door»* (puerta del granero), de sonido muy similar. En algunas ocasiones los sonidos invertidos produjeron sin sentidos, como cuando *«dart board»* (diana para dardos) se convirtió en *«bart dorad»* (expresión sin sentido). Aquí se encuentra el guiño interesante: los errores de intercambio de sonidos ocurrieron en el 30% de las ocasiones con *«darn bore»* —y sólo en el 10% de los ocasiones con *«dart board»* que se invierte en un sin sentido—. Este resultado aporta más pruebas de la naturaleza interactiva de la producción del lenguaje: si la codificación fonológica estuviera operando de forma independiente de otros niveles, entonces el ratio de los errores del habla no debería variar en función de si el resultado es un sin sentido en el mundo real. Debido a que los errores del habla que dan lugar a palabras reales son más comunes que los errores que dan lugar a sin sentidos, los investigadores han concluido que el nivel de codificación fonológica interactúa con los procesos de selección de las palabras.

Los procesos de producción de lenguaje (al igual que los procesos generales de producción motora considerados en el Capítulo 11) son complejos y de capa múltiple. Los datos que aclararon estos procesos de producción consistieron mayoritariamente de forma inicial en análisis de errores del habla, pero recientemente se han desarrollado métodos experimentales para estudiar la producción en el laboratorio. Datos procedentes tanto de los análisis de errores como de resultados de experimentos, demuestran claramente que los oradores y quienes hablan por señas llevan a cabo una gran cantidad de planificación antes de comenzar a expresarse y que después de comenzar, mientras que realizan las partes iniciales de su expresión, siguen planificando las partes siguientes. Dicha planificación simultánea en múltiples niveles lleva a una cierta interacción entre los diferentes niveles.



*Control de comprensión*



1. ¿Cuáles son las fases de la producción de lenguaje?
2. ¿Por qué tradicionalmente ha sido más difícil de estudiar la producción de lenguaje en un contexto experimental que estudiar la comprensión del lenguaje?

# 4 Lenguaje, pensamiento y bilingüismo

Imaginemos que hay tres estudiantes sentados en la fila frente a nosotros, uno de los Estados Unidos, otro de México y otro de Corea. ¿Piensan sobre el mundo del mismo modo que nosotros? Por supuesto que no. ¿Cuánta de esa diferencia procede de los accidentes de lenguaje, de que uno es un hablante nativo de inglés, otro de español y otro de coreano? ¿Cuánto se debe otras diferencias en sus experiencias? Además, respecto a los dos estudiantes que han aprendido el inglés más tarde, ¿cómo les ha cambiado la experiencia de aprender un segundo lenguaje?

## 4.1. Lenguaje y pensamiento

Los lenguajes difieren dramáticamente unos de otros en los términos sobre cómo describen el mundo. Debido a que lenguaje es el vehículo principal para expresar nuestros pensamientos, los pensadores desde el tiempo de Aristóteles han intentado entender en qué medida la lengua que hablamos perfila el modo en el que pensamos. Esta pregunta está asociada íntimamente con los escritos de Benjamin Lee Whorf, quien argumentaba que los lenguajes perfilan fuertemente el modo en el que sus hablantes perciben y conciben el mundo (Whorf, 1964). Aun cuando no todas las diferencias entre lenguas tienen como resultado diferencias en el pensamiento, los investigadores han encontrado diferencias asombrosas en cómo las personas que hablan diferentes lenguajes realizan un determinado número de funciones cognitivas, que pueden ser cómo navegan en y cómo razonan sobre el espacio, cómo perciben los colores y cómo razonan sobre objetos, substancias, acontecimientos, tiempo, números y sobre otras personas (por ejemplo, véase Gentner y Goldin-Meadow, 2003; Levinson, 2003). Muchos de los estudios han encontrado diferencias lingüísticas cruzadas incluso en procesamientos sorprendentemente elementales (por ejemplo, la habilidad para orientarse en el espacio, juzgar la duración, o percibir las diferencias entre diferentes tonalidades de color). Más allá de mostrar que los hablantes en diferentes idiomas piensan de forma diferente, estos estudios han encontrado que los procesos lingüísticos son predominantes en muchos dominios fundamentales del pensamiento. Esto es, parece ser que «pensar» es un complejo conjunto de colaboraciones entre representaciones y procesos lingüísticos y no lingüísticos (Papafragou, Massey y Gleitman, 2006).

## 4.2. Bilingüismo

Los experimentos diseñados para evaluar las afirmaciones sobre las relaciones entre el lenguaje y el pensamiento se han enfrentado a muchas complicaciones: por ejemplo,

las personas que hablan diferentes lenguajes, proceden también de diferentes culturas, lo que hace difícil atribuir cualquier diferencia observada en el pensamiento tan solo a las diferencias de lenguaje. Un «experimento natural» es el estudio de personas bilingües, personas que hablan dos (y a pesar del nombre, en ocasiones más de dos) idiomas. Aquí la cuestión es dilucidar si los procesos del pensamiento en un idioma están influidos por la capacidad de comprender, producir y pensar en otro lenguaje. La cuestión de las representaciones bilingües de lenguaje se extiende actualmente más allá de las cuestiones sobre el lenguaje y el pensamiento. Para cada proceso de lenguaje que se debate en este capítulo —percepción del habla, lectura, resolución de ambigüedades, producción de lenguaje y todos los demás—, los investigadores se han cuestionado si estos procesos operan del mismo modo en los hablantes bilingües que en los monolingües. Por ejemplo, ¿Tienen los hablantes bilingües uno o dos léxicos, uno para cada lengua? parece haber algunas situaciones en las cuales los dos idiomas de los bilingües aparentan estar bien separados y otras en las que interactúan, e incluso interfieren, uno con otro. El trabajo con los factores que toman el control cuando interfieren las dos lenguas y cuando no lo hacen puede ayudar a los investigadores del lenguaje a entender no sólo el bilingüismo, sino también todos los aspectos de la representación de lenguaje en el cerebro.

En los Estados Unidos, muchas personas saben poco o nada de cualquier otro idioma excepto de aquel que han hablado mientras crecían, aunque eso está cambiando. En otras muchas partes del mundo, sin embargo, la mayoría de las personas cultivadas hablan dos o más idiomas con la misma fluidez. ¿Cuáles son las consecuencias de ser capaz de producir y comprender dos idiomas en vez de en uno solo? Las respuestas a esta pregunta pueden depender de cuán tempranamente se aprendan los dos idiomas (véase el apartado de *Debate*) y de con qué frecuencia se utilice cada idioma —los niños necesitan oír y hablar un lenguaje al menos un 25% del tiempo para llegar a ser realmente competentes en él (Pearson *et al*., 1997)—.

Consideremos el caso de niños que crecen escuchando y utilizando con una frecuencia aproximadamente igual dos idiomas y comparemos su situación con monolingües. El niño bilingüe debe aprender a encuadrar cada concepto (tales como *perro, correr, amarillo*) en dos formas fonológicas diferentes y debe aprender estructuras sintácticas para dos idiomas distintos, mientras que un niño monolingüe aprende tan solo una. Esta carga adicional de aprendizaje resulta inicialmente en un desarrollo más lento del vocabulario en el niño bilingüe cuando se considera individualmente cada idioma. Por ejemplo, consideremos un grupo típico de niños bilingües en español e inglés, un grupo de niños monolingües en inglés y un grupo de niños monolingües en español. Si comprobamos las puntuaciones de vocabulario de los niños bilingües con las de los niños monolingües, los niños bilingües tenderán a tener un vocabulario más reducido —podrían saber menos palabras inglesas que los niños monolingües en inglés y menos palabras españolas que los niños monolingües en español—. No obstante, si sumamos el número total de cartografías de significado fonológico que conducen los niños bilingües en ambos idiomas, español e inglés, su puntuación total de vocabulario tendería a ser al menos tan alta como la de los niños monolingües (Pearson *et al*., 1993). Resultados similares se han encontrado para el aprendizaje de la sintaxis de un lenguaje; la carga de tener que aprender dos estructuras diferentes de la frase hace más lento inicialmente el desarrollo sintáctico de los bilingües en cada uno de los dos idiomas (Muller y Hulk, 2001). Así pues, los niños cuya experiencia de comprensión y producción de lenguaje se encuentra repartida entre dos lenguajes

DEBATE

## ¿Existen períodos críticos para la adquisición del lenguaje?

A diferencia de lo que sucede en el caso de otras muchas habilidades, aprender un segundo idioma es más fácil cuando se comienza en la infancia. ¿A qué se debe? La respuesta puede residir en la noción de un *período crítico* para el aprendizaje del lenguaje: un período de desarrollo durante el cual el niño adquiere con facilidad una habilidad; antes o después de este período limitado, la adquisición del idioma es notablemente más difícil. Las afirmaciones sobre un período crítico hacen surgir muchas preguntas adicionales que aún no tienen una respuesta segura. Por ejemplo, no está del todo claro por qué se cierra la puerta de la oportunidad: ¿Se debe a un cambio biológico, parecido a la pubertad, o es un efecto ambiental?, ¿interfiere el hecho en sí mismo de aprender en profundidad un idioma en el aprendizaje de otro?

Podemos preguntar cuán largo es el período crítico —¿cuándo se debe comenzar a aprender un idioma extranjero para tener la misma fluidez en él que alguien que comienza a aprenderlo desde su nacimiento? Los investigadores han ofrecido varias respuestas; algunos sugieren que se puede esperar hasta los 13 años para comenzar a aprender un idioma y aún llegar a tener la misma fluidez (y el mismo acento) que un hablante nativo. No parece que haya ninguna edad de corte mágica; sin embargo, la mayoría de la investigación sugiere que para lograr una fluidez completa sin traza de acento extranjero es importante comenzar aprender un segundo idioma muy temprano en la infancia. Por ejemplo, se ha comprobado que aunque los niños de seis meses pueden percibir fonemas de varios lenguajes que nunca han oído, empiezan a perder esta capacidad a la edad de 10 meses (Werker y Tees, 1984).

En cualquier caso, relacionar las capacidades perceptivas que se tienen en un período crítico con el conocimiento actual de un idioma es complicado. Un experimento obvio es comparar individuos que comienzan a aprender un idioma extranjero con edades diferentes. Las poblaciones emigrantes ofrecen un conjunto de posibles sujetos para experimentos de este tipo. Podríamos, por ejemplo, seleccionar personas que comenzaron a aprender inglés a los 10 años de edad, compararlos con aquellos que comenzaron con 20 años y examinarlos a todos después que hubieran permanecido en los Estados Unidos durante el mismo número de años. Esto se ha hecho, y esencialmente todos los estudios de este tipo muestran que el grupo que comenzó antes a aprender inglés tiene mejor conocimiento de la fonología y sintaxis inglesa (Flege *et al.*, 1999; Johnson y Newport, 1989). Sin embargo, es difícil saber cómo interpretar estos datos, debido a que los dos grupos probablemente hayan tenido unas experiencias y una cantidad de práctica del lenguaje muy diferentes: las personas que llegan a los Estados Unidos a los 10 años de edad habitualmente se integran en escuelas de habla inglesa, hacen amigos entre los compañeros de clase anglohablantes y tienden a tener mucha más práctica utilizando el inglés de lo que lo hacen las personas que llegan a los Estados Unidos a los 20 años de edad. Comparados con los niños, los inmigrantes adultos es menos probable que empleen tiempo en hablar y escuchar inglés, así que aun cuando los dos grupos hayan permanecido en los Estados Unidos durante la misma cantidad de tiempo, la calidad y cantidad de su experiencia en inglés tiende a ser diferente.

El análisis de la capacidad de lenguaje en las poblaciones de emigrantes que han intentado tener en cuenta esas diferencias (Flege *et al.*, 1999) ha encontrado que la cantidad de utilización pura de lenguaje, y no la edad en la cual comienza el aprendizaje de lenguaje, es lo que mejor predice el conocimiento sintáctico. Así pues, puede que los estudios antes mencionados no sean una clara evidencia de la existencia de un período crítico para el aprendizaje de la sintaxis. Por el contrario, el conocimiento de la fonología, evaluado por el acento, parece tener un período crítico: quienes empiezan a aprender pronto en la vida un segundo idioma tienen mejor acento que quienes lo aprenden más tarde, incluso cuando la cantidad de práctica esté cuidadosamente equiparada entre los dos grupos.

Si existe un período crítico para la adquisición de la fonología de una lengua, también nos podemos preguntar si los límites del período están claramente establecidos. Los investigadores han estudiado si incluso una pequeña experiencia temprana con un idioma extranjero puede evitar que disminuya posteriormente la capacidad de percibir y pronunciar fonemas igual que un hablante nativo (Au *et al.*, 2002; Oh *et al.*, 2003). Un estudio examinó grupos de anglohablantes que habían hablado coreano durante varios años antes de cambiar a un uso a tiempo completo del inglés; otro estudio examinó anglohablantes, quienes no habían hablado otro idioma pero que habían escuchado frecuentemente el español durante la infancia en las conversaciones de algunos adultos de su entorno. ¿Los resultados? Las ex-

periencias tempranas de hablar coreano e incluso las experiencias tempranas de escuchar español llevaron a una mejor percepción de los fonemas y una mejor capacidad de producción en cuanto a dichas lenguas que las que tenían los anglohablantes sin una experiencia comparable.

Sin embargo, otro estudio dio lugar a resultados muy diferentes (Pallier *et al.*, 2003). Este estudio investigaba adultos que habían nacido en Corea, pero que habían sido adoptados por familias francesas cuando tenían edades comprendidas entre los tres y los ocho años. Todos los adoptados dijeron que habían olvidado absolutamente todo el coreano y su francés se consideró perfecto. No eran mejores en la percepción o recuerdo del habla coreana de lo que lo eran los francohablantes monolingües y su grado de activación cerebral mientras escuchaban coreano, evaluado mediante RMf, no difería del de los francohablantes monolingües.

¿Cómo se explican las llamativas diferencias entre estos resultados, en los cuales todas las experiencias tempranas con la lengua coreana parecen haberse perdido completamente, y los estudios realizados por Au y colegas (2002), los cuales indicaban que la experiencia temprana tiene un efecto en la vida adulta? La respuesta parece estar en el grado en el cual la experiencia temprana con el idioma fue reemplazada por otro lenguaje. Pallier y sus colaboradores (2003) estudiaron a niños coreanos adoptados en Francia que básicamente no volvieron a escuchar el coreano. Por lo contrario, Au y sus colaboradorees examinaron a aprendices tempranos del español y del coreano en el sur de California, una comunidad altamente diversificada en la cual, tanto el coreano como el español, se escuchan con frecuencia. Esta exposición continuada a otro idioma puede haber suplido la experiencia temprana, permitiendo al grupo de California retener cierta capacidad de un modo en el cual no pudieron hacerlo los adoptados en Francia. Ambos estudios reflejan el interés y la complejidad de la investigación en el bilingüismo y en la adquisición de un idioma extranjero. Los estudios indican que la etapa de la vida en que se empieza a aprender una lengua, así como la cantidad y la naturaleza de las experiencias con un idioma, influyen en el grado en el cual un lenguaje adquirido en una etapa tardía se parecerá a otro adquirido en una etapa temprana.

pagan, al menos inicialmente, algún precio si se los compara con niños cuya experiencia se centra en un único idioma.

Aunque los bilingües acaban por adquirir un conocimiento extremadamente bueno de sus idiomas, es interesante preguntarse sobre las consecuencias del bilingüismo en la edad adulta. Un bilingüe que utilice rutinariamente ambos idiomas, tendrá de media la mitad de la práctica en la producción y comprensión de cada lenguaje que la que tendrá un monolingüe. El efecto de esta práctica repartida se puede ver en la producción de palabras, y los bilingües han demostrado tener más experiencias de tener algo en «la punta de la lengua» que los monolingües (Gollan y Acenas, 2004), incluso cuando se examinan los bilingües en el lenguaje que utilizan con mayor frecuencia.

Otra diferencia entre los bilingües y los monolingües es que los bilingües han de elegir (de forma consciente o inconsciente) qué lenguaje van a producir cada vez que hablan o escriben, mientras que los monolingües no tienen que hacer dicha elección. Siempre que un bilingüe utiliza un lenguaje, se debe inhibir el otro o la producción de lenguaje puede resultar en una mezcla incoherente de dos vocabularios y estructuras de frases diferentes. Varios estudios han sugerido que esta necesidad constante de inhibir un lenguaje y centrar la atención en el otro incrementa la efectividad de los procesos ejecutivos (tema del Capítulo 7). Parece ser que los niños y adultos bilingües realizan mejor tareas no verbales que se basan en gran medida en recursos de memoria y control cognitivo, tales como jugar a un juego en el cual se debe recordar y reproducir una secuencia de luces y de sonidos (Bialystock y Martin, 2004). Así pues, la experiencia de ser bilingüe tiene muchas consecuencias, tanto en el uso del lenguaje en sí mismo como más allá.



## Control de comprensión



1. ¿Cuál es el punto de vista de Sapir-Whorf sobre la influencia del lenguaje en el pensamiento?, ¿qué posición es más moderada?
2. ¿En qué se diferencian los bilingües de los monolingües en su ritmo de adquisición de un idioma?

# Repaso y reflexión

1. *¿Cuáles son los diferentes niveles de representación del lenguaje y cómo encajan unos con otros?*

   Los niveles de representación mental del lenguaje que se han revisado son el discurso, la sintaxis, las palabras, la morfología, y los niveles del fonema. Todos ellos se compaginan de un modo complejo debido a que los diversos niveles son distintos unos de otros (está claro que un fonema no es lo mismo que una proposición en el nivel del discurso), aunque los niveles no son completamente independientes. Por ejemplo, ciertas estructuras de frases (sintaxis) se utilizan para transmitir ciertos tipos de proposiciones en el discurso, ciertos tipos de morfemas ocurren con ciertos tipos de estructuras de la frase y así sucesivamente. Por otra parte, todos los elementos de lenguaje se pueden combinar una y otra vez; por ejemplo, los fonemas y los morfemas se pueden combinar para generar nuevas palabras y frases.

   **Piense críticamente**

   - Los pacientes con afasia de Broca tienen dificultades para comprender y producir morfemas funcionales. Muchas lenguas europeas, tales como el italiano y el ruso, tienen más morfemas funcionales ligados en una frase habitual (que aparecen como sufijos en las palabras) de lo que ocurre en una frase habitual en inglés. ¿Podría afectar esta diferencia en la frecuencia de morfemas funcionales a la naturaleza de la afasia de Broca en diferentes idiomas?
   - La capacidad generativa del lenguaje implica que literalmente podemos producir una variedad potencialmente infinita de frases y que cualquier frase podría ser, en principio, indefinidamente larga. En la práctica, sin embargo, incluso las frases largas no van más allá de unas cuantas docenas de palabras. ¿Por qué, aparentemente, usamos sólo esta pequeña fracción de nuestra capacidad generativa?, ¿la limitación reside en nuestra capacidad de producción, en nuestra capacidad de comprensión y/o en otros tipos de procesamiento cognitivo?

2. *¿Cómo progresa la comprensión del lenguaje en estos diferentes niveles?*

   La comprensión del lenguaje es un ejemplo específico de los procesos perceptivos que se discutieron de forma más general en el Capítulo 2, y los mismos principios que aparecieron en dicho capítulo se pueden ver también en el lenguaje. Por ejemplo, la comprensión del lenguaje tiene procesos de abajo a arriba y de arriba a abajo. Un componente clave de la comprensión del lenguaje es la solución de la ambigüedad, debido a que la ambigüedad se encuentra por todas partes en el lenguaje —por ejemplo, en las palabras, en las frases, en las delimitaciones entre

palabras y en los fonemas—. Las ambigüedades pueden interactuar entre ellas y, por lo tanto, las decisiones sobre dónde se encuentra la delimitación de una palabra puede afectar a la interpretación de qué fonemas se escucharon y viceversa. Parece ser que afrontamos estas múltiples ambigüedades mediante una toma inconsciente de decisiones que facilita la elección más probable dada toda la información disponible.

**Piense críticamente**

- ¿En qué se parecen o se diferencian los problemas de ambigüedad en la comprensión del lenguaje de los problemas de ambigüedad en otros procesos perceptivos que se examinaron en el Capítulo 2?
- Parece ser que somos capaces de activar múltiples significados de las palabras ambiguas. ¿Es este hallazgo otro ejemplo de una cohorte —la activación de muchas palabras posibles que coincidan parcialmente con la señal hablada? Si es así, ¿podría existir una especie de efecto de densidad por vecindad (quizá el número de significados alternativos) en la interpretación de palabras ambiguas?

**3.** *¿Cuáles son las semejanzas y diferencias en los procesos de comprensión respecto al lenguaje hablado y a la lectura, y cuáles son las semejanzas y diferencias en los procesos de comprensión en cuanto a las palabras y las frases?*

Una diferencia obvia entre el lenguaje hablado y escrito es que los oyentes deben identificar la delimitación entre palabras en la señal hablada, mientras que en muchos sistemas de escritura, incluido el nuestro, las fronteras entre palabras se marcan con espacios. Otra diferencia importante entre escuchar y leer es que la señal hablada es fugaz, mientras que los lectores pueden releer el texto si es necesario. Una última diferencia mayor es que la lectura es una habilidad que se enseña, mientras que la comprensión del lenguaje hablado se adquiere una edad muy temprana sin instrucciones explícitas. Aun así, la comprensión lectora y la del habla tiene similitudes importantes en tanto que al parecer interpretamos tanto el habla como la escritura mediante un proceso de integración de la información de arriba a abajo y de abajo a arriba para alcanzar la interpretación más probable del material.

La comprensión de palabras y frases aparenta estar basada en muchos de los mismos procesos, lo cual no es sorprendente dado el hecho de que las frases están hechas a partir de palabras. En particular, tanto las palabras como las frases contienen una gran cantidad de ambigüedad, y una cantidad sustancial de investigación sugiere que en ambos casos la solución de la ambigüedad implica la integración de información de arriba a abajo y de abajo a arriba para desarrollar la interpretación más probable dado lo que se ha escuchado o leído hasta ese momento en la frase.

**Piense críticamente**

- Algunos sistemas de escritura, entre los que se encuentra el chino, no colocan espacios entre las palabras en la escritura. ¿Piensa el lector que leer el chino debe de ser más parecido a escuchar el chino de lo que es leer el español y escuchar el español?
- En la conocida broma de Groucho Marx que comienza diciendo «*Disparé a un elefante en pijama*», tanto la persona que hace el disparo como el elefante pueden estar en pijama, pero no los dos al tiempo. ¿En qué se parece esto a la ambigüedad «pato-conejo» que se vio en el Capítulo 2?

4. *¿Cómo planifican y producen el lenguaje quienes lo utilizan?*

   La producción de lenguaje implica traducir un mensaje no lingüístico (un pensamiento u objetivo que aún no se ha asociado con un idioma) en una expresión. Planificar la expresión comienza por una codificación gramatical en la cual se seleccionan las representaciones de las palabras para codificar el mensaje y se elige una estructura sintáctica para permitir las palabras más accesibles (aquellas que el usuario del lenguaje está más dispuesto a articular) sean las primeras que surjan. Después viene la codificación fonológica, en la cual se recupera la pronunciación de las palabras y se desarrolla un plan de articulación. El flujo básico de información va de la codificación gramatical del mensaje a la codificación fonológica, pero hay algunas pruebas de que se da interacción entre los niveles, de forma que en algunas circunstancias la planificación de la articulación puede afectar a la codificación gramatical.

   **Piense críticamente**

   - ¿Cuál es la relación entre la accesibilidad de las palabras y el estado de palabras en la «punta de la lengua»?
   - Pensemos en algunas frases o títulos habituales que tengan dos sustantivos unidos mediante un *y* o un *o*, tales como sal y pimienta, «El foso y el péndulo» u «Orgullo y prejuicio». ¿Con qué frecuencia es el segundo nombre más largo que el primero?, ¿puede la longitud una palabra afectar su accesibilidad y elección en el orden de las palabras en estas frases?

5. *¿Cuál es la relación entre lenguaje y pensamiento?*

   Los investigadores han debatido durante largo tiempo en qué grado el lenguaje de cada quién perfila el pensamiento. La posición más fuerte, asociada más estrechamente con el trabajo de Salir y Whorf, es que el lenguaje que se habla perfila muchos de los pensamientos. Una posición más moderada es que el lenguaje perfila principalmente los pensamientos basados en el idioma, pero que no tiene una fuerte influencia en los procesos perceptivos tempranos y en los procesos cognitivos que no se basan de forma extensiva en el lenguaje.

   Las personas que se desarrollan en un ambiente bilingüe se ven frenadas inicialmente en su desarrollo del idioma en cada una de sus lenguas cuando se les compara con niños monolingües. Esto parece tener sentido dado que un niño bilingüe tendrá por término medio sólo la mitad de práctica con cada lengua de la que tendrá un niño monolingüe con la suya. Estos efectos de la diferente cantidad de práctica de una lengua se prolongan hasta la edad adulta. Se ha hallado que tanto los efectos positivos como los negativos de ser bilingüe se pueden remontar a la diferente experiencia de comprensión y de producción de una lengua que tienen los bilingües y los monolingües.

   **Piense críticamente**

   - Se ha comprobado que los recuerdos que tienen los testigos de acontecimientos son susceptibles a las preguntas capciosas, de tal forma que tenderemos a «recordar» un coche azul como verde si alguien pregunta «¿Qué velocidad llevaba el coche verde cuando se estrelló contra el árbol»? (véase el Capítulo 5), ¿cómo se relaciona la falibilidad de la memoria testimonial con la influencia del lenguaje sobre el pensamiento?
   - En los bilingües es frecuente la *conmutación de códigos*, utilizar algunas palabras de un idioma mientras que hablan en otro. Por ejemplo, los bilingües espa-

ñol-inglés que están hablando en español pueden incluir ocasionalmente palabras inglesas en la conversación. En este sentido, ¿podría relacionarse la conmutación de códigos con la accesibilidad léxica mientras se planifica la expresión verbal?

| **Respuestas a las definiciones PDL, página 551** |
|---|
| 1. Kimono |
| 2. Espejismo |
| 3. Metrónomo |
| 4. Mangosta |
| 5. Otomano |
| 6. Secoya |
| 7. Monóculo |
| 8. Ameba |

# Glosario



**Accesibilidad léxica:** facilidad con la que puede recuperarse una palabra.

**Acción:** Serie de movimientos organizados que se realizan con el fin de alcanzar una meta.

**Acineptosia:** ceguera al movimiento; es decir, pérdida de la capacidad de ver moverse los objetos.

**Acromatopsia (adquirida):** ceguera al color resultante de daño cerebral (por lo general del área visual V4); se pierden la visión de color y la memoria de color.

**Actitudes:** creencias, preferencias y predisposiciones cargadas de emoción relativamente permanentes hacia objetos o personas, tales como agrado, amor, odio, aversión o deseo por una persona u objeto.

**Actividad mental (cognición):** representación o transformación interna de la información almacenada.

**Afasia de Broca (afasia no fluida):** forma de afasia que se caracteriza por un habla no fluida, a menudo con una comprensión bastante buena pero con dificultades para procesar frases complejas.

**Afasia de Wernicke** (**afasia fluida**): forma de afasia caracterizada por un habla fluida pero a menudo sin significado, muchas palabras inventadas u otros errores del habla y comprensión deficiente.

**Afasia fluida (afasia de Wernicke):** forma de afasia que se caracteriza por un habla fluida, pero a menudo carente de significado, muchas palabras inventadas u otros errores de lenguaje y baja comprensión.

**Afasia no fluida (afasia de Broca):** forma de afasia caracterizada por un habla no fluida, a menudo con un nivel de comprensión bastante bueno pero con dificultades para procesar frases complejas.

**Afasia:** alteración del lenguaje o el habla producida por daño cerebral.

**Agnosia:** incapacidad de reconocer objetos familiares pese a no haber una anomalía sensitiva.

**Agrupaciones (*chunks*):** grupos de información en la memoria operativa, lo cual aumenta la capacidad de almacenarla eficazmente permitiendo que múltiples *bits* de información se traten como una sola unidad

**Alfabeto fonético:** alfabeto de símbolos en el que pueden representarse los sonidos del habla de todas las lenguas.

**Algoritmo:** procedimiento paso a paso, que requiere un proceso después de otro, y garantiza que un *input* determinado producirá un *output* determinado.

**Almacén fonológico:** subcomponente del bucle fonológico responsable del almacenamiento a corto plazo de información verbal conforme a un código basado en el sonido (fonológico).

**Alteraciones de categorías específicas:** en agnosia, la incapacidad selectiva de recuperar determinadas categorías de palabras, tales como frutas o verduras, mientras que se conserva la capacidad de reconocer otras categorías de palabras.

**Alternativas:** en toma de decisiones, los diferentes cursos de la acción de los que se dispone.

**Ambigüedad:** en lenguaje, la facultad de un sonido, una palabra, una frase o una oración de tener más de una interpretación.

**Ambigüedad estructural:** encadenamiento lineal de palabras que es coherente con más de una estructura sintáctica y de un significado.

**Amnesia anterógrada:** incapacidad para recordar conscientemente información recibida después de daño en el lóbulo temporal medial.

**Amnesia retrógrada:** olvido de acontecimientos que ocurrieron *antes* del daño cerebral.

**Análisis de protocolo verbal:** procedimiento en el que se dice en voz alta, se registra y se analiza el proceso de pensamiento de quien soluciona un problema mientras trabaja en él.

**Análisis medios-fin:** estrategia de resolución de problemas que descompone el problema en subproblemas; si en la primera fase de análisis no puede solucionarse un subproblema, entonces el problema se descompone en subproblemas hasta que se encuentra un subproblema resoluble.

**Anomia:** dificultad, debida a daño cerebral, para recordar el nombre de un objeto o una persona.

**Anticipación motora:** fenómeno por el que una respuesta motora se pone a punto antes de producir la respuesta.

**Apraxia:** trastorno neurológico que afecta a la capacidad de realizar movimientos voluntarios.

**Aprendizaje emocional:** aprendizaje que lleva a que se asocien objetos y personas con una emoción.

**Aprendizaje incidental:** aprendizaje que ocurre no como resultado de un intento deliberado de aprender, sino como consecuencia de realizar una tarea determinada.

**Aprendizaje intencional:** aprendizaje que tiene lugar como resultado de un intento deliberado de aprender.

**Arbitrariedad:** en lenguaje, falta de de un parecido directo entre la palabra y aquello a lo que se refiere.

**Árbol de decisión:** recurso gráfico para tomar decisiones que muestra los diversos planes de acción disponibles, los resultados probables y las consecuencias potenciales de cada elección posible.

**Árbol de estructura de la frase:** diagrama de una oración que ilustra su estructura sintáctica jerárquica.

**Área de asociación (zona de convergencia):** población de neuronas asociativas que asocia características de la información.

***Arousal* (Activación):** respuestas fisiológicas (por ejemplo, frecuencia cardiaca, liberación de hormona del estrés.), evaluación subjetiva de la intensidad y movilización de energía en respuesta a un estímulo emocional.

**Articulación:** producción de los sonidos del habla.

**Asociación:** caso en el que los efectos de una actividad o variable de una tarea se acompañan de efectos en otra tarea. *Véase también* **Disociación**.

**Asociaciones ilusorias:** combinaciones incorrectas de características; por ejemplo, en una tarea de búsqueda visual decir que el objetivo era un círculo sombreado cuando la exposición contenía cuadrados sombreados y círculos no sombreados.

**Atención dividida:** centrarse en más de una fuente de *input* al mismo tiempo.

**Atención ejecutiva:** tipo de atención que actúa sobre los contenidos de la memoria operativa y dirige el procesamiento subsiguiente.

**Atención endógena:** forma de atención en la que la información de arriba a abajo guía la selección de información que aporta el *input*.

**Atención exógena:** forma de atención en la que la información que contiene el input capta la atención y se selecciona de modo «de abajo a arriba».

**Atención focalizada:** centrarse en una fuente de *input* (por ejemplo, una llamada de teléfono), excluyendo otras (por ejemplo, ver un programa de televisión.

**Atención:** proceso que, en un momento dado, refuerza cierta información e inhibe otra.

**Atribución errónea:** atribuir información recordada a un momento, lugar, persona o fuente incorrecta.

**Aversión a la pérdida:** decidir seguir una conducta para evitar una pérdida, incluso si el resultado es menor que el de la elección óptima.

**Aversión al riesgo:** se refiere a que se prefiera recibir una ganancia pequeña, segura, a la posibilidad de obtener una ganancia posterior, incierta.

**Bloc de notas visuoespacial:** componente *buffer* de almacenamiento del modelo de Baddeley y Hitch de memoria operativa que es responsable de mantener la información visuoespacial.

**Bloqueo (de memoria):** obstáculo que impide recuperar la información que se pretende cuando otra información está asociada más sólidamente con las señales de recuperación.

**Bucle de reverberación:** hipótesis sobre el almacenamiento a corto plazo en la memoria operativa en la que un circuito de neuronas conectadas vuelve a hacer circular la actividad entre ellas, cada neurona envía y recibe señales referentes a la información que se está almacenando.

**Bucle fonológico:** el componente *buffer* de almacenamiento del modelo de Baddeley y Hitch de memoria operativa que es responsable de mantener la información verbal.

***Buffer* episódico:** un tercer *buffer* de almacenamiento, añadido recientemente al modelo de Baddeley y Hitch, el cual puede servir como lugar de almacenamiento en el que se puede almacenar e integrar información multimodal, compleja (tal como sucesos o episodios que se prolongan en el tiempo).

**Búsqueda al azar (generar y comprobar):** intento de solucionar un problema mediante el proceso de ensayo y error.

**Búsqueda conjuntiva:** tipo de búsqueda visual en la que el objetivo se diferencia de los elementos de distracción que se presentan al menos en dos características: por ejemplo, si el objetivo es un círculo sombreado, algunos elementos de distracción pueden ser cuadrados oscuros y otros círculos no sombreados.

**Búsqueda del riesgo:** se refiere a que se prefiera recibir una ganancia mayor, pero incierta, a la posibilidad de obtener una ganancia pequeña, segura.

**Búsqueda disyuntiva (o de características):** tipo de búsqueda visual en la que el objetivo difiere de los elementos de distracción presentes en una muestra en una sola característica.

**Búsqueda hacia atrás:** al solucionar un problema, desplazarse del estadio meta al estadio inicial.

**Búsqueda hacia delante:** en resolución de problemas, llegar desde el estado inicial al estado «objetivo».

**Cambio de atención:** cambiar el foco de atención de una entidad a otra.

**Cambio de modalidad:** proceso en el que se cambia la atención de una modalidad a otra, por ejemplo, de la visión a la audición.

**Campo receptor (de una célula):** región del campo visual en la que un estímulo llega a afectar la actividad de la célula.

**Campo visual:** parte del entorno que puede verse en el momento actual.

**Capacidad de memoria operativa (*span* de memoria operativa):** medida que describe la cantidad máxima de información que un individuo puede almacenar en la memoria operativa.

**Capacidad generativa (en lenguaje):** capacidad, exclusivamente humana, de recombinar morfemas, palabras y frases para transmitir una cantidad infinita de pensamientos.

**Característica (en percepción):** aspecto sensorial con significado de un estímulo percibido.

**Ceguera a la repetición:** falla en detectar la presentación siguiente de un estímulo cuando los estímulos se presentan en una rápida secuencia.

**Ceguera al cambio:** fallo en detectar cambios en los aspectos físicos de una escena supuestamente debido a la incapacidad para seleccionar en un momento determinado toda la información presente en una escena.

**Ciclo de percepción y acción:** transformación de los modelos percibidos en modelos de movimientos coordinados; la mutua dependencia funcional entre percepción y acción que existe en el mundo externo.

**Coarticulación:** superposición en el tiempo de los sonidos del lenguaje.

**Codificación:** procesos por los que la información o los sucesos que se perciben se transforman en una representación de memoria.

**Codificación fonológica:** tercer nivel en un modelo del proceso de producción del habla. En este nivel, previo a la articulación, se desarrolla la representación fonológica de la expresión verbal.

**Codificación gramatical:** segundo nivel en un modelo del proceso de producción del habla; a este nivel el orador (o el escritor) escoge las palabras para comunicar un significado y la estructura sintáctica de la frase a expresar.

**Cognición (actividad mental):** interpretación y transformación interna de la información almacenada.

**Cognición motora:** procesamiento mental en el que el sistema motor se sirve de información almacenada para contribuir a preparar y ejecutar las propias acciones, así como para anticipar, predecir e interpretar las acciones de los otros.

**Cohorte:** en lenguaje, conjunto inicial de candidatos léxicos que se activan en el perceptor durante el reconocimiento de las palabras habladas.

**Compatibilidad estímulo-respuesta:** medida del grado en que la asignación de respuestas correctas a los estímulos está en consonancia con el modo en que la gente actuaría naturalmente. En una tarea de compatibilidad estímulo-respuesta, se varía la «naturalidad» de la asignación de los estímulos a las respuestas.

**Conclusión de modelos:** proceso de recuperación en el que una señal que forma parte de una memoria almacenada sirve para reactivar otros aspectos de la memoria almacenada, lo que lleva a recuperar otra información presente durante la codificación del acontecimiento.

**Condicionamiento clásico emocional:** medio por el cual los estímulos neutros pueden adquirir atributos emocionales por mera asociación en el tiempo entre la experiencia del suceso neutro y un suceso emocional, de modo que el neutro se percibe como una predicción del emocional.

**Condicionamiento clásico:** proceso en el que una respuesta que es provocada por un estímulo inicial (el estímulo incondicionado) antes del aprendizaje llega a ser provocada por un segundo estímulo (el estímulo condicionado) que predice la aparición del estímulo condicionado.

**Condicionamiento instrumental** (condicionamiento operante): forma de aprendizaje en el que la frecuencia de una conducta o respuesta aumenta o disminuye dependiendo del resultado de dicha conducta —de si produce una recompensa o un castigo—.

**Conocimiento de base:** conocimiento que explica cómo se originan las características, porqué son importantes y cómo se relacionan unas con otras.

**Conocimiento:** en el sentido global en que se utiliza en Psicología cognitiva, información almacenada en la memoria sobre el entorno, que abarca desde lo cotidiano hasta lo formal; a menudo se define además como información sobre el entorno que es probable que sea cierta y que está justificado que uno crea.

**Consecuencias:** ventajas o desventajas en las que finalmente incurre quien toma una decisión al escoger una alternativa determinada.

**Consolidación:** proceso que modifica las representaciones de memoria de modo que se hacen más estables a lo largo del tiempo.

**Contorno subjetivo (o ilusorio):** contorno que no está presente físicamente en el estímulo pero que completa el sistema visual.

**Coordinación de tareas dobles:** proceso de realizar simultáneamente dos tareas distintas, cada una de las cuales implica por lo general almacenar la información en la memoria operativa.

**Coste del cambio:** tiempo adicional que se toma cuando se necesita cambiar la atención de una tarea a otra o de un atributo a otro, en contraposición a mantener la atención centrada en la misma tarea o atributo.

**Cuello de botella de la respuesta:** fase del procesamiento en el que se selecciona para ser ejecutada una respuesta (por ejemplo, presionar un botón) a un estímulo la cual compite con otras posibles respuestas (por ejemplo, responder pisando un pedal).

**Cuello de botella:** restricción de la cantidad de información que puede procesarse de una vez, por lo que se necesita seleccionar la información para pasar a través del cuello de botella.

**Decisión:** Elección de una opción o del desarrollo de la acción a partir de una serie de posibles alternativas.

**Densidad de vecindad:** cantidad de palabras en una lengua determinada con sonidos y articulación similar.

**Dependencia del punto de vista:** sensibilidad a la aparición de un objeto visto desde una posición particular.

**Dependiente de claves:** basado en pistas o señales del medio interno y externo.

**Descuento temporal:** tendencia a descontar o devaluar resultados, tanto ganancias como pérdidas, agradables o desagradables, que ocurren de nuevo en el futuro.

**Discurso:** un grupo coherente de frases escritas o habladas.

**Disociación:** caso en el que una actividad o variable afecta al rendimiento en una tarea o aspecto de la tarea pero no en otra; una disociación es prueba de la existencia de un proceso específico. *Véase también* **Asociación**.

**Disociación doble:** caso en el que una actividad o variable afecta a un proceso pero no a otro y una segunda actividad o variable tiene el efecto opuesto.

**Dualidad de patrón:** característica de un sistema de comunicación que hace posible que una pequeña cantidad de unidades con significado se combinen en una gran cantidad de unidades con significado.

**Efecto cóctel:** oír el nombre de uno mismo o alguna otra información importante o pertinente por encima del estrépito del ruido de fondo que podría ocultar otra información.

**Efecto de atmósfera:** en razonamiento, la tendencia a aceptar una conclusión como válida si contiene el mismo cuantificador («alguno», «todo» o «ninguno») que el que aparece en la premisa.

**Efecto de donación:** tendencia a que un artículo adquiera un valor añadido en virtud de que lo poseemos. El efecto se ha utilizado para explicar porqué los vendedores adjudican un precio más alto a los artículos que los compradores.

**Efecto de espaciamiento:** fenómeno de que la información se recuerda mejor cuando las sesiones de estudio se espacian que cuando son masivas.

**Efecto de generación:** el hecho de que es más probable que se recuerde la información que se recupera o se genera basándose más en la memoria que en la información que proviene del exterior.

**Efecto de longitud de la palabra:** disminución en el rendimiento de memoria operativa que tiene lugar cuando se almacenan elementos que lleva mucho tiempo decir en voz alta.

**Efecto de memoria congruente con el estado de ánimo:** tendencia del estado de ánimo a influir en el tipo de información que se recupera de modo que sea congruente con el estado afectivo presente: es más probable que durante un estado de ánimo negativo se recupere información negativa y que durante un estado de ánimo positivo se recupere información positiva.

**Efecto de restauración de fonemas:** fenómeno perceptivo en el que el oyente suprime un fonema perdido o distorsionado.

**Efecto de sesgo de opinión:** en razonamiento, la tendencia a aceptar una conclusión «creíble» a un silogismo antes que una «increíble».

**Efecto de similitud fonética:** reducción del rendimiento en memoria operativa que ocurre cuando han de recordarse en serie elementos verbales almacenados simultáneamente que tienen sonidos similares.

**Efecto de supremacía de la cara:** hallazgo de que las personas pueden discriminar mejor entre dos rasgos de un rostro (por ejemplo, una nariz ancha y una fina) cuando se les muestran en el contexto del resto de la cara que cuando se presentan las partes por separado.

**Efecto de supremacía de la palabra:** fenómeno por el que se ve mejor una letra en el contexto de una palabra que sola: las letras que la rodean pueden sugerir una palabra, y así influyen en la percepción de las letras centrales.

**Efecto dependiente de estado:** fenómeno de que la recuperación de la información es por lo general mejor cuando aspectos de nuestro estado interno en el momento de la recuperación coinciden con los que hubo durante la codificación.

**Efecto dependiente del contexto:** el fenómeno de que la recuperación de los recuerdos por lo general es mejor cuando el entorno físico o externo —el contexto— es equiparable al del momento de la codificación.

**Efectos de marco:** influencia de los diversos modos en los que puede plantearse un problema, lo cual puede alterar la elección de quien toma una decisión.

**Ejecutivo central:** el componente de sistema de control del modelo de Baddeley y Hitch de memoria operativa, el cual rige las operaciones sobre la información en los dos sistemas de memoria intermedia (*buffers*) de almacenamiento.

**Ejemplares:** miembros individuales de una categoría.

**Elaboración:** acto de procesar un estímulo considerando su significado y relacionándolo con otra información almacenada en la memoria.

**Elementos de distracción:** elementos que aparecen (por ejemplo, en un experimento de búsqueda visual) que no son el elemento «objetivo» que se está buscando.

**Eliminación por aspectos:** estrategia de elección en la que quien toma una decisión establece un punto de corte o criterio para un determinado aspecto de las alternativas y elimina todas las opciones que no cumplan el criterio, luego selecciona otro aspecto, establece un criterio, y elimina otras alternativas hasta que sólo queda una.

**Emoción:** episodio relativamente breve de respuestas sincronizadas (que pueden incluir respuestas corporales, expresión facial y evaluación subjetiva), el cual indica la evaluación de un suceso interno o externo como significativo.

**Emociones básicas:** seis tipos básicos de reacciones emocionales que parecen ser universales en todas las culturas; felicidad, tristeza, ira, miedo, desagrado y sorpresa.

**Ensayo articulatorio:** subcomponente del bucle fonológico de la memoria operativa responsable de revivir activamente la información del almacén fonológico.

**Entidad significativa:** objeto u acontecimiento que desempeña un papel importante en la supervivencia de un organismo y la búsqueda de sus metas.

**Entonación:** la «melodía» del habla que proviene de subidas y bajadas del tono y variaciones en el énfasis.

**Error de intercambio de palabra:** error del habla en el que se cambian de lugar dos palabras.

**Error de intercambio de sonidos:** error del habla que consiste en cambiar de lugar dos fonemas.

**Errores de contenido:** errores en el razonamiento deductivo que se producen cuando se utiliza el contenido del argumento o escenario en el silogismo en lugar de una estructura lógica.

**Errores de forma:** errores de razonamiento deductivo que se deben a la forma estructural o formato de la relación entre la premisa y la conclusión.

**Escalada:** una heurística para resolver un problema eligiendo sucesivamente el paso que más se parece al estado «objetivo».

**Espacio del problema:** conjunto de estados, o posibles elecciones, que afronta quien resuelve un problema en cada paso cuando avanza de la etapa inicial a la etapa final.

**Espectrograma:** visualización producida por un espectrómetro, instrumento utilizado en fonética acústica para el análisis del habla. El tiempo se representa en un eje y la frecuencia del sonido en otro.

**Esquema:** representación estructurada que contiene la información que por lo general define una situación o acontecimiento.

**Establecer secuencias:** ordenar la información o las acciones para alcanzar un objetivo.

**Estado «objetivo»:** solución de un problema.

**Estado de ánimo:** estado afectivo de baja intensidad, difuso y duradero.

**Estado de partida (también conocido como estado inicial):** estado de un problema cuando lo afronta por primera vez quien ha de resolverlo.

**Estado inicial (estado de partida):** estado de un problema cuando se plantea por primera vez a quien ha de resolver el problema.

**Estrategia rápida y frugal:** estrategia de elección en la que quien toma una decisión elige basándose en un aspecto específico de cada opción.

**Evidencia convergente:** diferentes tipos de resultados que implican la misma conclusión.

**Extinción:** disminución de una respuesta aprendida que tiene lugar cuando un estímulo previamente neutro, que ha adquirido propiedades mediante condicionamiento clásico, se presenta sin que aparezca el estímulo incondicionado las veces suficientes para que el sujeto aprenda que este estímulo neutro condicionado ya no predice que ocurra el estímulo incondicionado.

**Fonema:** la unidad de sonido más pequeña que distingue a las palabras en una lengua determinada.

**Formato (de una representación):** forma de código que se utiliza en una representación determinada; medios de los que se sirve para transmitir información.

**Fóvea:** parte central de la retina en la que se da la mayor agudeza visual.

**Frase que lleva al jardín:** frase ambigua que inicialmente parece tener un significado pero luego deja de ser ambigua, adquiriendo un significado diferente.

**Generar y comprobar** (búsqueda al azar): intentar resolver un problema mediante un proceso de ensayo y error.

**Geones:** conjunto de 24 formas geométricas tridimensionales relativamente sencillas que pueden combinarse para representar muchos objetos habituales.

**Gramática:** conocimiento implícito que se tiene de la estructura de una lengua.

**Hábitos estímulo-respuesta:** hábitos que surgen a través de la lenta acumulación de conocimientos acerca de la relación de predicción entre un estimulo y una respuesta.

**Heurísticas:** reglas generales sencillas, eficaces y resueltas, que por lo general, pero no siempre, aportan la respuesta correcta a un problema y se utilizan para tomar decisiones y hacer juicios; las reglas funcionan en la mayoría de las circunstancias pero en ciertos casos pueden llevar a sesgos sistemáticos.

**Hipótesis de primacía afectiva:** la idea, propuesta inicialmente por Wundt (1907) y elaborada posteriormente por Zajonc (1984), sugiere que los estímulos emocionales se procesan de un modo relativamente automático y requieren menos de recursos cognitivos limitados que de otro tipos de estímulos.

**Hipótesis ejecutiva frontal:** supuesto de que todo proceso ejecutivo está mediado básicamente por la corteza prefrontal.

**Imágenes motoras:** imaginar que se está haciendo una acción que se pretende sin llegar a hacerla en realidad.

**Imitación:** capacidad de comprender el propósito de una acción observada y luego reproducirla.

**Imitación recíproca:** imitarse por turnos, como una madre y un bebé que intercambian gestos de comunicación.

**Inconsistencia dinámica:** en toma de decisiones, la tendencia observada a invertir la preferencia por un resultado dependiendo de la disponibilidad inmediata de la ganancia frente a una futura.

**Inducción basada en categorías:** forma de inducción que se basa en la categoría de los juicios implicados.

**Información errónea:** falso recuerdo de un acontecimiento original acorde con información falsa incorporada posteriormente.

**Inhibición de la respuesta:** supresión de una respuesta preparada parcialmente.

**Inmediatez:** en lenguaje, el principio de que interpretamos las palabras a medida que las encontramos.

**Intenciones:** planes mentales ideados para alcanzar un objetivo mediante la acción.

**Interferencia de *output*:** interferencia, que lleva al olvido, durante la recuperación de información debido a que los recuerdos recuperados inicialmente se fortalecen, bloqueando así la recuperación de otros recuerdos.

**Interferencia de tarea doble:** interferencia en la realización de una tarea mientras se realiza otra al mismo tiempo, en comparación con cuando se realiza sólo la primera tarea.

**Interferencia proactiva:** caso en el que un aprendizaje previo provoca dificultad para recordar información recientemente aprendida.

**Interferencia retroactiva:** caso en el que un nuevo aprendizaje disminuye la capacidad de recordar información previamente aprendida.

**Intervalo de retención:** tiempo entre la codificación y la recuperación de memoria de un acontecimiento.

**Introspección:** proceso de percepción interna, es decir, mirar dentro de uno mismo para valorar los propios sucesos mentales.

**Invariancia de procedimiento:** en toma de decisiones, el principio de que tendría que expresarse una preferencia consistente entre opciones incluso cuando se presentan de forma distinta.

**Lapso freudiano:** Error al hablar en el que el orador elige una palabra que significa lo contrario de lo que pretendía.

**Léxico:** conjunto de representaciones mentales de cada una de las palabras conocidas.

**Lista de propiedades:** lista de las características de las entidades que pertenecen a una categoría.

**Marco:** estructura que especifica un conjunto de relaciones que vinculan los objetos presentes en el entorno. *Véase también* **Red semántica**.

**Memoria:** conjunto de representaciones y procesos por los que se codifica, consolida y recupera la información.

**Memoria a corto plazo:** término alternativo para el componente de almacenamiento de la memoria operativa que resalta la duración limitada de este sistema de almacenamiento, lo cual lo distingue de la memoria a largo plazo, más permanente.

**Memoria a largo plazo:** información adquirida en el transcurso de una experiencia que persiste de modo que puede recuperarse incluso mucho después de que haya tenido lugar la experiencia.

**Memoria basada en el peso:** forma de almacenamiento de memoria que ocurre por fortalecimiento (o debilitamiento) de las conexiones, o pesos, entre poblaciones de neuronas.

**Memoria basada en la actividad:** forma de almacenamiento de la información que tiene lugar gracias a un aumento mantenido o persistente de la actividad en poblaciones neuronales especificas.

**Memoria de reconstrucción:** memoria que es una reconstrucción del pasado más que una reproducción del mismo (y que, por lo tanto, tiende a estar sesgada).

**Memoria declarativa (memoria explícita):** forma de memoria a largo plazo que puede recordarse conscientemente y describirse («declararse») a otras personas; incluye memoria de hechos y acontecimientos.

**Memoria episódica:** memoria de acontecimientos determinados que se asocia con un contexto espacial y temporal particular.

**Memoria no declarativa (memoria implícita):** formas no conscientes de memoria a largo plazo que se manifiestan como un cambio en la conducta más que como un recuerdo consciente.

**Memoria operativa [o de trabajo]:** sistema que permite almacenar a corto plazo y manipular mentalmente información.

**Memoria primaria:** término utilizado por William James para describir un sistema de memoria independiente que proporciona un lugar de almacenamiento que permite que la información permanezca accesible a la consciencia.

**Memoria semántica:** conocimiento general sobre el mundo, incluyendo palabras y conceptos, sus propiedades y relaciones mutuas.

**Memorias flash:** término que se utiliza para referirse a memorias de acontecimientos chocantes impactantes o con cualquier otro tipo de carga emotiva, los cuales suelen describirse como recordados con un alto nivel de convencimiento y detalle aparente, como una foto tomada con un flash.

**Mera exposición:** adquisición de una preferencia o actitud sólo mediante familiarización.

**Método comportamental:** técnica que evalúa la conducta que se puede observar directamente, tal como el tiempo en responder o la exactitud de una respuesta.

**Mimetismo:** tendencia a adoptar conductas, actitudes o gestos de otros sin que sea consciente o deliberado.

**Modelo cinético:** pauta de movimiento asociada con una acción o conjunto de movimientos específicos.

**Modelo de aproximación-retirada:** modelo dimensional que caracteriza el componente de una reacción emocional como ya sea una tendencia a aproximarse al objeto, suceso o situación o a alejarse de él.

**Modelo de Atkinson y Shiffrin (modelo modal):** modelo de memoria basado en el procesamiento de la información, planteado por primera vez en 1960, que destaca el papel de la memoria a corto plazo como una vía de entrada por la que ha de pasar la información antes de ingresar en la memoria a largo plazo.

**Modelo de Baddeley y Hitch:** modelo, con gran influencia en la actualidad, de la memoria operativa; hace hincapié en que para que se den actividades cognitivas complejas se requiere el almacenamiento a corto plazo de la información, mediante dos memorias intermedias (*buffers*) de almacenamiento a corto plazo y un sistema de control.

**Modelo de circunferencia (de la emoción):** modelo que describe las diversas respuestas emocionales como variables a lo largo de las dimensiones de *arousal* y valor.

**Modelo de mantenimiento de objetivos:** explicación teórica de la memoria operativa en la que la corteza prefrontal mantiene, de modo activo, la información relacionada con el objetivo de manera que dicha información puede servir como una influencia de arriba abajo que coordina la percepción, la atención y las acciones necesarias para alcanzar un objetivo.

**Modelo de utilidad esperada:** teoría de la toma de decisiones que asume una conducta racional por parte de quien toma la decisión al valorar la probabilidad de las alternativas, evaluar las consecuencias, asignar utilidades y escoger la opción con la utilidad más alta.

**Modelo modal (modelo de Atkinson y Shiffrin):** modelo de memoria basado en el procesamiento de información, desarrollado inicialmente en 1960, que destaca el papel de la memoria a corto plazo como una vía de entrada por la que la información ha de pasar antes de ingresar a la memoria a largo plazo.

**Modelo triangular:** teoría del léxico, utilizada para describir la representación de la palabra, con tres componentes principales: deletreo (ortografía), sonido (fonología) y significado.

**Modelos de proceso:** modelos que especifican una secuencia de procesos que transforman un *input* en un *output*; cada proceso se considera por lo general como una «caja negra».

**Modelos de redes neurales:** modelos que se basan en conjuntos de unidades interconectadas, cada una de las cuales se pretende que corresponda a una neurona o un pequeño grupo de neuronas.

**Modelos de simulación computarizados:** programas de computador diseñados para reproducir aspectos específicos del procesamiento mental.

**Morfema:** la unidad con significado más pequeña en una lengua. *Gato* tiene dos morfemas: *gat* y *-o*.

**Morfema funcional:** morfema que transmite información sintáctica, tal como el morfema de plural -s.

**Morfemas con contenido:** morfemas que transmiten un significado pero no dan información acerca de la estructura de una frase (por ejemplo, *gato, carrera*).

**Motivación:** predisposición a la acción.

**Movimiento aparente:** ilusión que se produce cuando estímulos visuales en diferentes localizaciones aparecen en rápida sucesión.

**Movimiento biológico:** pauta de movimiento que únicamente producen los organismos vivos.

**Movimiento:** desplazamiento voluntario de una parte del cuerpo en el espacio físico.

**Negligencia hemiespacial:** trastorno de la atención en el que la alteración provoca que el paciente no atienda a la información que se presenta en el lado del espacio opuesto al lado dañado del cerebro.

**Neuronas especulares:** células de la corteza premotora que disparan tanto durante la ejecución de una acción determinada como durante la observación de la misma acción realizada por otro individuo.

**Nivel básico:** el nivel de una taxonomía que se utiliza más frecuentemente, se aprende más fácilmente y se procesa con mayor eficacia.

**Nivel del mensaje:** primer nivel en un modelo del proceso de producción del habla; en este nivel el orador (o el escritor) formula un mensaje no lingüístico para comunicar.

**Niveles de análisis:** diversos grados de abstracción que pueden utilizarse para describir un objeto u acontecimiento.

**Olvido inducido por la recuperación:** olvido que ocurre cuando se suprime una memoria durante la recuperación de otra memoria.

**Olvido:** incapacidad de reconocer o reconocer información codificada previamente.

**Organización basada en el contenido:** hipótesis según la cual el mantenimiento de la información en la memoria operativa se da en diferentes regiones de la corteza prefrontal, dependiendo del tipo de información (por ejemplo, visual, espacial, o de objeto) que ha de almacenarse.

**Organización basada en el proceso:** idea de que diferentes procesos de memoria operativa (almacenamiento y control ejecutivo) se llevan a cabo en diferentes regiones de la corteza prefrontal.

**Palabras funcionales:** palabras que transmiten información sobre la estructura sintáctica de una frase, por ejemplo, artículos, verbos auxiliares y conjunciones.

**Paradoja de Allais:** en la toma de decisiones, es la aparente contradicción que se observa cuando el hecho de añadir acontecimientos idénticos a cada alternativa tiene el efecto de cambiar la preferencia de quien toma la decisión.

**Paradoja de Ellsberg:** elección de quien toma una decisión de la certeza en lugar de la ambigüedad incluso cuando el resultado es un modelo de elección inconsistente.

**Parpadeo de atención:** disminución del rendimiento en referir un segundo elemento de información si aparece en un determinado período de tiempo tras la presentación de un primer elemento de información.

**Pensamiento:** proceso de representar mentalmente la información y transformar estas representaciones de modo que se generan nuevas representaciones, útiles para nuestros objetivos.

**Percepción biestable:** percepción de interpretaciones alternativas de estímulos ambiguos.

**Períodos críticos:** períodos, determinados biológicamente, de una etapa temprana de la vida en los que el animal está preparado para desarrollar determinadas capacidades o respuestas; si se malogra un período crítico no se pueden aprender las capacidades o respuestas o se aprenden con gran dificultad.

**Peso de decisión:** apreciación de quien toma una decisión de la probabilidad de diversos resultados de una decisión.

**Plantilla:** modelo que puede emplearse para comparar elementos individuales con uno estándar.

**Posefecto de inclinación:** sesgo al percibir la orientación que se produce cuando están fatigadas las neuronas que detectan la inclinación a la derecha o la inclinación a la izquierda.

**Potenciales provocados (PPs):** actividad eléctrica cerebral relacionada con un estímulo (o respuesta) particular.

**Práctica distribuida:** ensayos de un estudio separados por otros estímulos.

**Práctica espaciada:** estudiar la misma información pero intercalando otra información entre las sesiones de estudio.

**Práctica masiva:** estudiar repetidamente la misma información sin que se inmiscuya otra información entre las sesiones de estudio.

***Priming* motor:** efecto por el cual observar una acción facilita automáticamente realizar uno mismo una acción similar.

***Priming* («preparación») conceptual:** facilitación del procesamiento del significado de un estímulo, debido al procesamiento de estímulos relacionados (el *priming* es un tipo de memoria no declarativa).

***Priming* (Extinción previa o sensibilización):** facilitación del procesamiento de un estímulo o una tarea por un estímulo o tarea precedente.

***Priming* perceptivo:** facilitación del procesamiento de los aspectos perceptivos de un estímulo debido al procesamiento de un estímulo previo (el *priming* es una forma de memoria no declarativa).

**Principio de especificidad de la codificación:** nuestra capacidad de recordar un estímulo depende de la similitud entre el modo en que se procesa el estímulo en el momento de la codificación y en el de la recuperación.

**Principios de agrupamiento:** condiciones, tales como proximidad y similitud, que llevan al sistema visual a producir unidades perceptivas.

**Problema de *insight*:** problema cuya solución se encuentra repentinamente.

**Problema del ligamiento:** la cuestión de cómo asociamos diferentes características tales como forma, color y orientación de modo que percibamos un objeto determinado.

**Problemas bien definidos:** problemas en los que el estado inicial y el estado meta están claramente definidos y se conocen los posibles movimientos (y las reglas de restricción).

**Problemas mal definidos:** problemas en los que el estado inicial y el estado «objetivo» no se conocen con exactitud al principio.

**Procesamiento apropiado de transferencia:** principio de que el procesamiento en la codificación es eficaz en la medida en que se superpone con el procesamiento que ha de realizarse en la recuperación.

**Procesamiento de la información:** modos en que se almacena, manipula y transforma la información.

**Proceso:** transformación de la información que sigue unos principios bien definidos para producir un *output* específico cuando se da un *input* específico.

**Proceso automático:** proceso que puede iniciarse de modo no deliberado y que puede realizarse sin atención.

**Procesos ejecutivos:** procesos que modulan la operación de otros procesos y que son responsables de coordinar la actividad mental.

**Programa motor:** representación de una secuencia de movimientos que se planifica antes de hacerlos.

**Proposiciones:** afirmaciones que pueden expresarse en enunciados en las oraciones gramaticales.

**Prototipo:** el conjunto de propiedades que es más probable que corresponda a los miembros de una categoría.

**Pruebas de memoria implícita:** pruebas de memoria que hacen referencia directa (esto es, explícita) a la memoria del pasado, tales como el recuerdo y el reconocimiento.

**Pruebas de memoria explícita:** tareas de memoria que hacen referencia indirecta (es decir, implícita) a la memoria; la memoria se revela implícitamente mediante un cambio en la conducta más que mediante recuerdo o reconocimiento de los contenidos de memoria.

**Psicofisiología:** estudio de la relación entre estados mentales, por lo general estados afectivos, y respuestas fisiológicas.

**Psicolingüística:** estudio de la comprensión, producción y adquisición del lenguaje.

**Punto de referencia:** posición psicológica desde la que vemos las consecuencias de una decisión.

**Razonamiento analógico:** razonamiento que implica utilizar el conocimiento de un dominio relativamente conocido (la fuente) y aplicarlo a otro (la meta).

**Razonamiento inductivo:** cualquier proceso de pensamiento que se base en conocimiento de casos específicos para colegir otras inferencias (que no son necesariamente correctas).

**Razonamiento:** procedimientos cognitivos que usamos para hacer inferencias a partir del conocimiento.

**Recapitulación:** reinstauración durante la recuperación de la pauta de activación presente durante la codificación.

**Reconocimiento:** proceso de emparejar el *input* sensorial organizado con representaciones almacenadas en la memoria.

**Recurrencia:** inclusión sucesiva de frases gramaticales dentro de las oraciones, lo que lleva a la infinita creatividad del lenguaje humano.

**Red semántica:** estructura que especifica esquemáticamente, con flechas de dirección, un conjunto de relaciones que conecta objetos o acontecimientos. *Véase también* **Marco**.

**Reforzador primario:** estímulo que provoca emoción el cual es positivo o negativo en sí mismo, tal como un alimento o una descarga. En estos estímulos, las propiedades de refuerzo se dan de modo natural y no necesitan aprenderse. *Véase también* **Reforzador secundario**.

**Reforzador secundario:** estímulo que provoca emoción el cual en sí mismo no es positivo o negativo, sino que adquiere sus propiedades de refuerzo mediante aprendizaje (el dinero es un ejemplo representativo). *Véase también* **Reforzador primario**.

**Región de no ambigüedad:** el punto de una frase en el que se hacen evidentes la estructura y la interpretación que se pretende.

**Regla:** en categorización, una definición precisa de los criterios de una categoría.

**Regulador de la atención:** componente de un modelo de red neural del fenómeno de conflicto que añade activación a las representaciones relacionadas con el objetivo actual.

**Repetición espacial:** proceso de revivir mentalmente las localizaciones espaciales almacenadas en el componente visuoespacial de la memoria operativa, posiblemente mediante movimientos encubiertos de los ojos o del cuerpo hacia las localizaciones almacenadas.

**Representación dinámica:** se refiere a la capacidad del sistema cognitivo para construir, y para evocar cuando es necesario, muchas representaciones diferentes de una categoría, cada una de las cuales pone de relieve el conocimiento más pertinente en el momento.

**Representación:** estado físico creado para transmitir información, especificando un objeto, acontecimiento o categoría o sus características o relaciones.

**Representaciones motoras compartidas:** representaciones que controlan nuestras acciones y que especifican las acciones de otras personas. Las representaciones motoras compartidas juegan un papel importante en la planificación puesto que permiten el aprendizaje por observación.

**Resolución de problemas:** el hecho de utilizar una serie de procesos cognitivos para alcanzar una meta cuando el camino a dicha meta no es obvio.

**Respuesta de conductibilidad de la piel:** índice de activación del sistema nervioso autónomo que se evalúa haciendo pasar una pequeña corriente eléctrica a través de la piel y midiendo los cambios de resistencia a la corriente producidos por sutiles cambios de actividad de las glándulas sudoríparas. A menudo se utiliza como medida indirecta de una reacción emocional.

**Rivalidad binocular:** competición entre las imágenes que ve cada ojo por separado.

**Sacudida ocular:** rápido movimiento ocular durante la lectura.

**Satisfactorio:** estrategia de elección por la que quien toma una decisión no encuentra necesariamente la mejor opción posible, sino más bien una que es «suficientemente buena» en una serie de dimensiones; una estrategia frecuente en la elección de los consumidores.

**Sentido de actuación:** consciencia de ser quien ha iniciado u originado un movimiento, acción o pensamiento.

**Sesgo de confirmación:** en razonamiento, predisposición a buscar, interpretar y sopesar la información de un modo que sea coherente con las creencias y expectativas preexistentes.

**Sesgo de consistencia:** sesgo resultante de la creencia (a menudo errónea) de que las actitudes de uno mismo permanecen estables a lo largo del tiempo; en consecuencia los recuerdos se modifican inconscientemente para que el pasado concuerde con el presente.

**Sesgo de emparejamiento:** en razonamiento, tendencia a aceptar una conclusión como válida si contiene la estructura sintáctica de las premisas.

**Sesgo de opinión:** sesgo que se produce cuando el conocimiento de base sobre el mundo y las creencias personales influyen en la memoria para remodelarlo de modo que concuerde con las expectativas.

**Silogismo categórico:** silogismo en el que las premisas y la conclusión relacionan diferentes categorías.

**Silogismo condicional:** silogismo que representa la relación de condición entre variables; la primera premisa es del tipo «si $p$, entonces $q$».

**Silogismo:** argumento en razonamiento deductivo que consta de dos afirmaciones (la premisa principal y la premisa menor) y una conclusión.

**Simulación:** en percepción, la reactivación, según un modelo estadístico, de la imagen e información de características incluso después de que la escena original ya no esté presente. En razonamiento y planificación, la construcción y «puesta en marcha» de un modelo mental de un objeto o situación, utilizado para anticipar las consecuencias de una acción o transformación.

**Sintaxis:** relación entre los tipos de palabras (tales como sustantivos y verbos) en una frase. Esta estructura especifica los roles de las entidades denominadas por las palabras (por ejemplo, sujeto, objeto).

**Sistema de procesamiento:** serie de procesos que operan juntos para realizar una tarea, utilizando y produciendo representaciones cuando es apropiado.

**Sobresalto de parpadeo potenciado:** el sobresalto de parpadeo se potencia, o aumenta, ante un estímulo negativo y disminuye ante un estímulo positivo.

**Supervisión:** evaluar el propio rendimiento en una tarea mientras se está realizando la tarea.

**Supervisor de conflictos:** componente de un modelo de red neural de los fenómenos de conflicto que supervisa la cantidad de conflicto existente en el procesamiento.

**Supresión articulatoria:** alteración del bucle fonológico de la memoria operativa, y en particular del proceso de ensayo articulatorio, provocado por la producción manifiesta de un habla irrelevante al tiempo que se mantiene la información.

**Supresión de repetición:** fenómeno observado en primates no humanos y ratas, consistente en que la frecuencia de disparo de las neuronas es menor cuando se encuentra posteriormente un estímulo que cuando se encuentra por primera vez.

**Supresión:** debilitamiento activo de la memoria.

**Tarea de Brown y Peterson:** tarea para examinar la duración del almacenamiento en la memoria a corto plazo.

**Tarea de respuesta demorada:** tarea que se utiliza para estudiar las formas simples de memoria operativa: se presenta brevemente una señal a lo que sigue un breve período de demora durante el cual ha de retenerse la señal en el almacén de memoria a corto plazo con el fin de que se pueda dar la respuesta apropiada a una señal posterior.

**Tarea de Stroop:** prueba de atención en la que se presenta el nombre de los colores impresa en un color distinto y la tarea del sujeto es decir el color en que está impresa.

**Tarea *N* retrógrada:** tarea que se utiliza para estudiar los efectos de un aumento de la carga («*load*») de memoria operativa, pidiendo a los sujetos que juzguen si cada elemento que se presenta coincide con un elemento presentado *N* elementos atrás en la serie.

**Taxonomía:** conjunto de categorías anidadas que varían en abstracción, cada categoría anidada es un subconjunto de su categoría de orden superior.

**Teoría de niveles de procesamiento:** teoría basada en la hipótesis de que el procesamiento de diferentes aspectos de un estímulo —perceptivo, fonológico, semántico— se corresponde con un procesamiento cada vez más exhaustivo y una codificación cada vez más efectiva.

**Teoría del declive:** hipótesis de que el olvido se debe al debilitamiento espontáneo de las representaciones de memoria con el paso del tiempo.

**Teoría prospectiva:** teoría descriptiva moderna de la conducta de toma de decisiones que actualiza el modelo económico habitual de la teoría de la utilidad esperada asumiendo que experimentamos las pérdidas más profundamente que las ganancias de la misma magnitud, que tenemos aversión al riesgo en cuanto a las ganancias y buscamos el riesgo en cuanto a las pérdidas, que utilizamos el peso de la decisión en lugar de probabilidades objetivas y que a menudo tomamos nuestras decisiones desde la perspectiva de un punto de referencia.

**Teorías de doble proceso (del reconocimiento):** teorías basadas en la hipótesis de que el reconocimiento de un estímulo que se ha conocido antes puede basarse tanto en que se recuerde como en el hecho de que resulte familiar.

**Teorías de interferencia (del olvido):** teorías basadas en la hipótesis de que las memorias compiten durante la recuperación y el olvido ocurre debido a que otras asociadas con una señal interfieren en la recuperación de la memoria deseada.

**Teorías descriptivas:** teorías sobre la toma de decisiones que se centran en cómo las personas eligen en realidad, independientemente de cómo se ajuste una elección a principios racionales.

**Teorías normativas (teorías preceptivas):** en toma de decisión, teorías que describen cómo *deberíamos* decidir a fin de hacer una elección racional.

**Teorías preceptivas (teorías normativas):** en toma de decisiones, teorías que describen cómo *deberíamos* decidir a fin de tomar una decisión racional.

**Tipos ontológicos:** categorías de los tipos generales de entes que existen en el mundo.

**Tracto vocal:** conjunto de estructuras anatómicas que participan en la producción del lenguaje, principalmente la laringe (que incluye las cuerdas vocales), la boca y la nariz.

**Transferencia de la percepción a la acción:** efecto del hecho de que observar una acción facilita la capacidad posterior de llevar a cabo dicha acción.

**Transitividad:** en toma de decisiones, el principio de que si se prefiere el objeto A al objeto B, y el objeto B al objeto C, entonces el objeto A ha de preferirse al objeto C.

**Traumatismo craneoencefálico cerrado:** lesión cerebral provocada por un golpe externo en la cabeza que no perfora el cráneo.

**Utilidad de la decisión:** anticipación, en el momento en que se toma la decisión, del valor subjetivo esperado o la trascendencia de una respuesta determinada.

**Utilidad esperada:** la importancia o valor de un resultado determinado sopesado por la probabilidad de que dicho resultado ocurra.

**Utilidad experimentada:** la importancia o valor que se le adjudica a un resultado determinado en el momento en que éste ocurre.

**Valencia:** cualidad subjetiva, positiva o negativa, de la reacción emocional a un objeto o acontecimiento específico.

**Variabilidad de la codificación:** codificación de diferentes aspectos de un estímulo cuando se seleccionan diferentes características para codificarlas en siguientes ocasiones.

**Variación del ejemplar:** diferencias entre los muchos ejemplos posibles de objetos en una categoría.

**Vía dorsal:** vía visual que va desde el lóbulo occipital hasta el parietal, la cual procesa información espacial tal como en dónde se localizan los objetos.

**Vía ventral:** vía visual desde el lóbulo occipital a las regiones superiores del lóbulo temporal que procesa información que lleva al reconocimiento de los objetos.

**Zona de convergencia (área de asociación):** conjunto de neuronas asociativas que integran características de la información.

# Referencias




Abbot, V., Black, J., & Smith, E. E. (1985). The representation of scripts in memory. *Journal of Memory and Language, 24*, 179-199.

Adolphs, R., Tranel, D., Hamann, S., Young, A. W., Calder, A. J., Phelps, E. A., *et al.* (1999). Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia, 37*, 1111-1117.

Ahn, W., & Luhmann, C. C. (2005). Demystifying theory-based categorization. In L. Gershkoff-Stowe & D. H. Rakison (Eds). *Building object categories in developmental time.* (pp. 277-300). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Allais, M. (1953/1979). Le comportement de l'homme rationnel devant le risqué: Critique des postulate et axioms de l'école américaine. *Econometrica, 21*, 503-546. [In M. Allais & O. Hagen (Eds. and Trans.). (1979). *Expected utility hypotheses and the Allais paradox*. Hingham, MA: Reidel.]

Allen, S. W., & Brooks, L. R. (1991). Specializing the operation of an explicit rule. *Journal of Experimental Psychology: General, 120*, 3-19.

Allison, T., Puce, A., & McCarty, G. (2000). Social perception from visual cues: Role of the STS region. *Trends Cognitive Science, 4*, 267-278.

Allopena, P. D., Magnuson, J. S., & Tanenhaus, M. K. (1998). Tracking the time course of spoken word recognition using eye movements: Evidence for continuous mapping models. *Journal of Memory and Language, 38*, 419-439.

Allport, A., Styles, E., & Hsieh, S. (1994). Shifting attentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In C. Umilta & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV* (pp. 421-452). Cambridge, MA: The MIT Press.

Altmann, G. T. M. (Ed.). (1990). *Cognitive models of speech processing.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Amaral, D. G., Price, J. L., Pitkanen, A., & Carmichael, S. T. (1992). Anatomical organization of the primate amygdaloid complex. In J. P. Aggleton (Ed.) *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory and mental dysfunction* (pp. 1-65). New York: Wiley-Liss.

Anderson, A. K. (2004). *Pay attention! Psychological and neural explorations of emotion and attention.* Paper presented at 16th Annual Meeting of the American Psychological Society, Chicago, IL.

Anderson, A. K. (2005). Affective influences on the attentional dynamics supporting awareness. *Journal of Experimental Psychology: General, 134*, 258-281.

Anderson, A. K., Christoff, K., Stappen, I., Panitz, D., Ghahremani, D. G., Glover, G., *et al.* (2003). Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction. *Nature Neuroscience, 6*, 196-202.

Anderson, A. K., & Phelps, E. A. (2001). The human amygdala supports affective modulatory influences on visual awareness. *Nature, 411*, 305-309.

Anderson, J. A., Silverstein, J. W., Ritz, S. A., & Jones, R. S. (1977). Distinctive features, categorical perception, and probability learning: Some applications of a neural model. *Psychological Review, 84*, 413-451.

Anderson, J. R. (1976). *Language, memory, and thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Anderson, J. R. (1978). Arguments concerning representations for mental imagery. *Psychological Review, 85*, 249-277.

Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Anderson, J. R. (1990). *The adaptive character of thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne M. D., & Lebiere, C. (2005). An integrated theory of the mind. *Psychological Review, 111*, 1036-1060.

Anderson, M. C., & Green, C. (2001). Suppressing unwanted memories by executive control. *Nature, 410*, 366-369.

Anderson, M. C., & Spellman, B. A. (1995). On the status of inhibitory mechanisms in cognition: Memory retrieval as a model case. *Psychological Review, 102*, 68-100.

Andrews, T. J., Sengpiel, F., & Blakemore, C. (2005). From contour to object-face rivalry: Multiple neural mechanisms resolve perceptual ambiguity. In D. Alais & R. Blake (Eds). *Binocular rivalry*. (pp. 187-211). Cambridge, MA, US: MIT Press.

Armstrong, S. L., Gleitman, L. R., & Gleitman, H. (1983). On what some concepts might not be. *Cognition, 13*, 263-308.

Arocha, J. F., & Patel, V. L. (1995). Novice diagnostic reasoning in medicine: Accounting for clinical evidence. *Journal of the Learning Sciences, 4*, 355-384.

Ashbridge, E., Walsh, V., & Cowey, A. (1997). Temporal aspects of visual search studies by transcranial magnetic stimulation. *Neuropsychologia, 35*, 1121-1131.

Ashby, F. G., & Ell, S. W. (2001). The neurobiology of human category learning. *Trends in Cognitive Sciences, 5*, 204-210.

Ashby, F. G., & Maddox, W. T. (1992). Complex decision rules in categorization: Contrasting novice and experienced performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18*, 50-71.

Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 89-195). New York: Academic Press.

Atwood, M. E., & Polson, P. G. (1976). A process model for water jug problems. *Cognitive Psychology, 8*, 191-216.

Au, T. K. F., Knightly, L. M., Jun, S. A., & Oh, J. S. (2002). Overhearing a language during childhood. *Psychological Science, 13*, 238-243.

Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences, 5*, 119-126.

Awh, E., Jonides, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24*, 780-790.

Baars, B. J., Motley M. T., & MacKay, D. G. (1975). Output editing for lexical status in artificially elicited slips of the tongue. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 14*, 382-391.

Baddeley, A. (1986). *Working memory*. New York: Clarendon Press/Oxford University Press.

Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences,* 4, 417-423.

Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience, 4*, 829-839.

Baddeley, A. D., Bressi, S., Della Sala, S., Logie, R., & Spinnler, H. (1991). The decline of working memory in Alzheimer's disease. *Brain, 114*, 2521-2542.

Baddeley, A. D., Gathercole, S., & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review, 105*, 158-173.

Baddeley, A. D., Grant, S., Wight, E., & Thomson, N. (1973). Imagery and visual working memory. In P. M. A. Rabbitt & S. Dornic (Eds.), *Attention and performance* (Vol. 5, pp. 205-217). London: Academic Press.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation,* (Vol. 8, pp. 47-89). New York: Academic Press.

Baddeley, A. D., Lewis, V. J., & Vallar, G. (1984). Exploring the articulatory loop. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 36*, 233-252.

Baddeley, A. D., & Lieberman, K. (1980). Spatial working memory. In R. S. Nickerson (Ed.), *Attention and performance* (Vol. 8, pp. 521-539). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Baddeley, A. D., Papagno, C., & Vallar, G. (1988). When long-term learning depends on short-term storage. *Journal of Memory and Language, 27, 586-595.*

Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 14, 575-589.*

Baddeley, A. D., & Warrington, E. K. (1970). Amnesia and the distinction between long-and short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour, 9*, 176-189.

Baeyens, F., Elen, P., Vand Den Bergh, O., & Crombez, G. (1990). Flavor-flavor and color-flavor conditioning in humans. *Learning and Motivation, 21*, 434-455.

Baird, J. A., & Baldwin, D. A. (2001). Making sense of human behavior: action parsing and intentional inferences. In B. F. Malle, L. J. Moses, & D. A. Baldwin (Eds.), *Intentions and intentionality* (pp. 193-206). Cambridge, MA: The MIT Press.

Bakin, J. S., Nakayama, K., & Gilbert, C. D. (2000). Visual responses in monkey areas V1 and V2 to three-dimensional surface configurations. *Journal of Neuroscience, 20*, 8188-8198.

Baldwin, D. A., Baird, J. A., Saylor, M. M., & Clark, M. A. (2001). Infants parse dynamic action. *Child Development, 72*, 708-717.

Baldwin, J. M. (1897). *Social and ethical interpretations in mental development: A study in social psychology*. New York: Macmillan.

Banich, M. T. (1997). *Neuropsychology: The neural bases of mental function*. Boston: Houghton Mifflin.

Barclay, J. R., Bransford, J. D., Franks, J. J., McCarrell, N. S., & Nitsch, K. E. (1974). Comprehension and semantic flexibility. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 13*, 471-481.

Barnes, J. M., & Underwood, B. J. (1959). «Fate» of first-list associations in transfer theory. *Journal of Experimental Psychology, 58*, 97-105.

Barr, R., Dowden, A., & Hayne, H. (1996). Developmental changes in deferred imitation by 6-to 24-month-old infants. *Infant Behavior & Development, 19*, 159-170.

Barr, R. F., & McConaghy, N. (1972). A general factor of conditionability: A study of Galvanic skin responses and penile responses. *Behaviour Research and Therapy, 10*, 215-227.

Barrett, L. F., & Russell, J. A. (1999). Structure of current affect. *Current Directions in Psychological Science, 8*, 10-14.

Barsalou, L. W. (1983). Ad hoc categories. *Memory & Cognition, 11*, 211-227.

Barsalou, L. W. (1985). Ideals, central tendency, and frequency of instantiation as determinants of graded structure in categories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 11*, 629-654.

Barsalou, L. W. (1987). The instability of graded structure: Implications for the nature of concepts. In U. Neisser (Ed.), *Concepts and conceptual development: Ecological and intellectual factors in categorization* (pp. 101-140). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Barsalou, L. W. (1989). Intraconcept similarity and its implications for interconcept similarity. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 76-121). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Barsalou, L. W. (1990). On the indistinguishability of exemplar memory and abstraction in category representation. In T. K. Srull & R. S. Wyer (Eds.), *Advances in social cognition, Volume III: Content and process specificity in the effects of prior experiences* (pp. 61-88). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Barsalou, L. W. (1992). Frames, concepts, and conceptual fields. In E. Kittay & A. Lehrer (Eds.), *Frames, fields, and contrasts: New essays in semantic and lexical organization* (pp. 21-74). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences, 22*, 577-609.

Barsalou, L. W. (2003a). Abstraction in perceptual symbol systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences, 358*, 1177-1187.

Barsalou, L. W. (2003b). Situated simulation in the human conceptual system. *Language and Cognitive Processes, 18*, 513-562.

Barsalou, L. W., & Hale, C. R. (1993). Components of conceptual representation: From feature lists to recursive frames. In I. Van Mechelen, J. Hampton, R. Michalski, & P. Theuns (Eds.), *Categories and concepts: Theoretical views and inductive data analysis* (pp. 97-144). San Diego: Academic Press.

Barsalou, L. W., Niedenthal, P. M., Barbey, A., & Ruppert, J. (2003). Social embodiment. In B. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 43, pp. 43-92). San Diego: Academic Press.

Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Bartolomeo, P., & Chokron, S. (2001). Levels of impairment in unilateral neglect. In F. Boller & J. Grafman (Eds.), *Handbook of neuropsychology* (Vol. 4, pp. 67-98). North-Holland: Elsevier Science.

Basso, A., Spinnler, H., Vallar, G., & Zanobio, M. E. (1982). Left hemisphere damage and selective impairment of auditory-verbal short-term memory: A case study. *Neuropsychologia, 20*, 263-274.

Bateson, M., & Kacelnik, A. (1998). Risk-sensitive foraging: Decision making in variable environments. In R. Dukas (Ed.), *Cognitive ecology: The evolutionary ecology of information processing and decision making* (pp. 297-341). Chicago: University of Chicago Press.

Bauer, R. H., & Fuster, J. M. (1976). Delayed-matching and delayed-response deficit from cooling dorsolateral prefrontal cortex in monkeys. *Journal of Comparative and Physiological Psychology, 90*, 293-302.

Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2002). *Neuroscience: Exploring the brain* (2nd ed.). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

Bechara, A., & Damasio, A. R. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic behavior. *Games and Economic Behavior, 52*, 336-372.

Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition, 50*, 7-15.

Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2000a). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex, 10*, 295-307.

Bechara, A., Tranel, D., & Damasio, H. (2000b). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain, 123*, 2189-2202.

Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., Adolphs, R., Rockland, C., & Damasio, A. R. (1995). Double dissociation of conditioning and declarative knowledge relative to the amygdala and hippocampus in human. *Science, 269*, 1115-1118.

Bechtel, W., & Abrahamsen, A. (2001). *Connectionism and the mind: Parallel processing, dynamics and evolution in networks.* Cambridge, MA: Blackwell.

Beckers, G., & Homberg, V. (1992). Cerebral visual motion blindness: transitory akinetopsia induced by transcranial magnetic stimulation of human area V5. *Proceedings of the Royal Society London B: Biological Science, 249*, 173-178.

Beckers, G., & Zeki, S. (1995). The consequences of inactivating areas V1 and V5 on visual motion perception. *Brain, 118*(Pt 1), 49-60.

Begley, S. (2002, September 13). Are your memories of September 11 really true? *Wall Street Journal.*

Behn, R. D., & Vaupel, J. W. (1982). *Quick analysis for busy decision makers.* New York: Basic Books.

Behrmann, M. (2000). The mind's eye mapped onto the brain's matter. *Current Directions in Psychological Science, 9*, 50-54.

Behrmann, M., Ebert, P., & Black, S. E. (2003). Hemispatial neglect and visual search: A large scale analysis from the Sunnybrook Stroke Study. *Cortex, 40*, 247-263.

Behrmann, M., & Tipper, S. P. (1994). Object-based visual attention: Evidence from unilateral neglect. In C. Umilta & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious processing and cognitive functions* (pp. 351-375). Cambridge, MA: The MIT Press.

Bekkerring, H., & Wohlschlager, A. (2002). Action perception and imitation: A tutorial. In W. Prinz & B. Hommel (Eds.), *Attention and performance XIX: Common mechanisms in perception and action* (pp. 294-314). Oxford: Oxford University Press.

Bell, D. E. (1982). Regret in decision making under uncertainty. *Operations Research, 30*, 961-981.

Bell, D. E. (1985). Disappointment in decision making under uncertainty. *Operations Research, 33*, 1-27.

Benartzi, S., & Thaler, R. H. (1995). Myopic loss aversion and the equity premium puzzle. *Quarterly Journal of Economics, 110*, 73-92.

Berg, J., Dickhaut, J., & O'Brien, J. (1985). Preference reversal and arbitrage. In V. Smith (Ed.), *Research in experimental economics* (Vol. 3, pp. 31-72). Greenwich, CT: JAI Press.

Berlin, B., Breedlove, D. E., & Raven, P. H. (1973). General principles of classification and nomenclature in folk biology. *American Anthropologist, 75*, 214-242.

Bertenthal, B. I. (1993). Perception of biomechanical motion in infants: Intrinsic image and knowledgebased constraints. In C. Granrud (Ed.), *Carnegie symposium on cognition: Visual perception and cognition in infancy* (pp. 175-214). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Bertenthal, B. I., Proffit, D. R., & Cutting, J. E. (1984). Infant sensitivity to figural coherence in biomechanical motions. *Journal of Experimental Child Psychology, 37*, 213-230.

Beyer, L., Weiss, T., Hansen, E., Wolf, A., & Seidel, A. (1990). Dynamics of central nervous activation during motor imagination. *International Journal of Psychophysiology, 9*, 75-80.

Bialystok, E., Craik, F. I. M., & Klein, R. (2004). Bilingualism, aging, and cognitive control: Evidence from the Simon task. *Psychology & Aging, 19*, 290-303.

Bialystok, E., & Martin, M. M. (2004). Attention and inhibition in bilingual children: Evidence from the dimensional change card sort task. *Developmental Science, 7*, 325-339.

Biederman, I. (1981). On the semantics of a glance at a scene. In M. Kubovy & J. R. Pomerantz (Eds.), *Perceptual Organization* (pp. 213-253). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review, 94*, 115-147.

Biederman, I. (1995). Visual object recognition. In S. M. Kosslyn & D. N. Osherson (Eds.), *An invitation to cognitive science: Vol. 2, Visual cognition* (pp. 41-72). Cambridge, MA: The MIT Press.

Biederman, I., Mezzanotte, R. J., & Rabinowitz, J. C. (1982). Scene perception: Detecting and judging objects undergoing relational violations. *Cognitive Psychology, 14*, 143-177.

Binkofski, F., Buccino, G., Posse, S., Seitz, R. J., Rizzolatti, G., & Freund, H. (1999). A fronto-parietal circuit for object manipulation in man: Evidence from an fMRI study. *European Journal of Neuroscience, 11*, 3276-3286.

Bird, H., Lambon-Ralph, M. A., Seidenberg, M. S., McClelland, J. L., & Patterson, K. (2003). Deficits in phonology and past-tense morphology: What's the connection? *Journal of Memory and Language, 48*, 502-526.

Bisiach, E., & Luzzatti, C. (1978). Unilateral neglect of representational space. *Cortex, 14*, 129-133.

Bjork, R. A. (1989). Retrieval inhibition as an adaptive mechanism in human memory. In H. L. Roediger & F. I. M. Craik (Eds.), *Varieties of memory and consciousness: Essays in honour of Endel Tulving* (pp. 309-330). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Black, J. B., & Bower, G. H. (1980). Story understanding as problem solving. *Poetics, 9*, 223-250.

Blakemore, C., & Tobin, E. A. (1972). Lateral inhibition between orientation detectors in the cat's visual cortex. *Experimental Brain Research, 15*, 439-440.

Blakemore, S.-J., & Decety, J. (2001). From the perception of action to the understanding of intention. *Nature Reviews Neuroscience, 2*, 561-567.

Blakemore, S.-J., Rees, G., & Frith, C. D. (1998). How do we predict the consequences of our actions? A functional imaging study. *Neuropsychologia, 36*, 521-529.

Blakemore, S.-J., Wolpert, D. M., & Frith, D. D. (2002). Abnormalities in the awareness of action. *Trends in Cognitive Sciences, 6*, 237-242.

Blanchette, I., & Dunbar, K. (2002). Representational change and analogy: How analogical inferences alter target representations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 28*, 672-685.

Block, N., Flanagan, O., & Güzeldere, G. (Eds.). (1997). *The nature of consciousness: Philosophical debates.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Blok, S., Newman, G., & Rips, L. J. (2005). Individuals and their concepts. In W-K Ahn, R. L. Goldstone, B. C. Love, A. B. Markman, & P. Wolff (Eds). *Categorization inside and outside the laboratory: Essays in honor of Douglas L. Medin.* (pp. 127-149). Washington, DC, US: American Psychological Association.

Bock, J. K. (1982). Toward a cognitive psychology of syntax: Information processing contributions to sentence formulation. *Psychological Review, 89*, 1-47.

Boltz, M. (1992). Temporal accent structure and the remembering of filmed narratives. *Perception and Psychophysics, 57*, 1080-1096.

Bonda, E., Petrides, M., Ostry, D., & Evans, A. (1996). Specific involvement of human parietal systems and the amygdala in the perception of biological motion. *Journal of Neuroscience, 16*, 3737-3744.

Bonnet, M., & Requin, J. (1982). Long loop and spinal reflexes in man during preparation for intended directional hand movements. *Journal of Neuroscience, 2*, 90-96.

Booth, J. R., Burman, D. D., Meyes, J. R., Gitelman, D. R., Parish, T. B., & Mesulam, M. M. (2002). Modality independence of word comprehension. *Human Brain Mapping, 6*, 251-261.

Boring, E. G. (1964). Size constancy in a picture. *American Journal of Psychology, 77*, 494-498.

Bornhovd, K., Quante, M., Glauche, V., Bromm, B., Weiller, C., & Buchel, C. (2002). Painful stimuli evoke different stimulus-response functions in the amygdala, prefrontal, insula, and somatosensory cortex: A single-trial fMRI study. *Brain, 125*, 1326-1336.

Bornstein, R. F. (1992). Subliminal mere exposure effects. In R. F. Bornstein & T. S. Pittman (Eds.), *Perception without awareness: Cognitive, clinical and social perspectives.* New York: Guilford Press.

Bottini, G., Corcoran, R., Sterzi, R., Paulesu, E., Schenone, P., Scarpa, P., *et al.* (1994). The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language. A positron emission tomography activation study. *Brain, 117*, 1241-1253.

Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review, 108*, 624-652.

Bower, G. H. (1981). Mood and memory. *American Psychologist, 36*, 129-148.

Bower, G. H., & Cohen, P. R. (1982). Emotional influences in memory and thinking: Data and theory. In M. S. Clark & S. T. Fiske (Eds.), *Affect and cognition* (pp. 291-332). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Brainard, D. H., & Freeman, W. T. (1997). Baysian color constancy. *Journal of the Optical Society of America A, 14*, 1393-1411.

Braine, M. D. S., & O'Brien, D. P. (1991). A theory of if: A lexical entry, reasoning program, and pragmatic principles. *Psychological Review, 98*, 182-203.

Brase, G. L., Cosmides, L., & Tooby, J. (1998). Individuation, counting, and statistical inference: The role of frequency and whole-object representations in judgment under uncertainty. *Journal of Experimental Psychology: General, 127*, 3-21.

Brass, M., Bekkering, H., Wohlschlager, A., & Prinz, W. (2000). Compatibility between observed and executed finger movements: Comparing symbolic, spatial and imitative cues. *Brain and Cognition, 44*, 124-143.

Brass, M., Zysset, S., & von Cramon, D. Y. (2001, March). *The inhibition of imitative response tendencies: A functional MRI study*. Poster presented at the annual meeting of the Cognitive Neuroscience Society, New York.

Braver, T. S., & Cohen, J. D. (2000). On the control of control: The role of dopamine in regulating prefrontal function and working memory. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and performance XVIII* (pp. 713-738). Cambridge, MA: The MIT Press.

Braver, T. S., Cohen, J. D., & Barch, D. M. (2002). The role of the prefrontal cortex in normal and disordered cognitive control: A cognitive neuroscience perspective. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 428-448). Oxford: Oxford University Press.

Braver, T. S., Cohen, J. D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E., & Noll, D. C. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Neuroimage, 5*, 49-62.

Brefczynski, J. A., & DeYoe, E. A. (1999). A physiological correlate of the «spotlight» of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience, 2*, 370-374.

Bregman, A. S. (1981). Asking the «what for» question in auditory perception. In M. Kubovy & J. R. Pomerantz (Eds.), *Perceptual organization* (pp. 99-118). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Breiter, H. C., Aharon, I., Kahneman, D., Dale, A., & Shizgal, P. (2001). Functional imaging of neural responses to expectancy and experience of monetary gains and losses. *Neuron, 30*, 619-639.

Breiter, H. C., Gollub, R. L., Weisskoff, R. M., Kennedy, D. N., Makris, N., Berke, J. D., *et al.* (1997). Acute effects of cocaine on human brain activity and emotion. *Neuron, 19*, 591-611.

Bremner, J. D. (2002). Neuroimaging studies of post-traumatic stress disorder. *Current Psychiatry Reports, 4*, 254-263.

Brewer, J. B., Zhao, Z., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (1998). Making memories: Brain activity that predicts how well visual experience will be remembered. *Science, 281*, 1185-1187.

Brewer, W. F., & Treyens, J. C. (1981). Role of schemata in memory for places. *Cognitive Psychology, 13*, 207-230.

Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication.* London: Pergamon Press.

Brooks, L. R. (1968). Spatial and verbal components of the act of recall. *Canadian Journal of Psychology, 22*, 349-368.

Brooks, L. R. (1978). Nonanalytic concept formation and memory for instances. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 169-211). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Brown, J. (1958). Some tests of the decay theory of immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 10*, 12-21.

Brown, M. W., & Aggleton, J. P. (2001). Recognition memory: What are the roles of the perirhinal cortex and hippocampus? *Nature Reviews Neuroscience*, *2*, 51-61.

Brown, M. W., Wilson, F. A., & Riches, I. P. (1987). Neuronal evidence that inferomedial temporal cortex is more important than hippocampus in certain processes underlying recognition memory. *Brain Research, 409*, 158-162.

Brown, R., & Kulik, J. (1977). Flashbulb memories. *Cognition, 5*, 73-79.

Brugger, P., Kollias, S. S., Müri, R. M., Crelier, G., Hepp-Reymond, M. C., & Regard, M. (2000). Beyond re-membering: Phantom sensations of congenitally absent limbs. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 97*, 6167-6172.

Brunel, N., & Wang, X.-J. (2001). Effects of neuromodulation in a cortical network model of object working memory dominated by recurrent inhibition. *Journal of Computational Neuroscience, 11*, 63-85.

Bruner, J. S. (1957). Going beyond the information given. In J. S. Bruner, E. Brunswik, L. Festinger, F. Heider, K. F. Muenzinger, C. E. Osgood, & D. Rapaport (Eds.), *Contemporary approaches to cognition* (pp. 41-69). Cambridge, MA: Harvard University Press.

Bruner, J. (1990). *Acts of meaning*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Bruner, J. S., Goodnow, J. J., & Austin, G. A. (1956). *A study of thinking*. New York: New York Science Editions.

Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., *et al.* (2001). Action observation activated premotor and parietal areas in a somatotopic manner: An fMRI study. *European Journal of Neuroscience, 13*, 400-404.

Buchanan, T., Lutz, K., Mirzazade, S., Specht, K., Shah, N., Zilles, K., & Jancke, L. (2000). Recognition of emotional prosody and verbal components of spoken language: An fMRI study. *Cognitive Brain Research, 9*, 227-238.

Buckner, R. L., & Schacter, D. L. (2005). Neural correlates of memory's successes and sins. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neuroscience III* (pp. 739-752). Cambridge, MA: MIT Press.

Buckner, R. L., & Wheeler, M. E. (2001). The cognitive neuroscience of remembering. *Nature Reviews Neuroscience, 2*, 624-634.

Burgess, A. E. (1985). Visual signal detection. III. On Bayesian use of prior knowledge and cross correlation. *Journal of the Optical Society of America A, 2*, 1498-1507.

Burgess, N., & Hitch, G. J. (1999). Memory for serial order: A network model of the phonological loop and its timing. *Psychological Review, 106*, 551-581.

Butterworth, G. (1999). Neonatal imitation: Existence, mechanisms and motives. In J. Nadel & G. Butterworth (Eds.), *Imitation in infancy* (pp. 63-67). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Cabeza, R., Rao, S. M., Wagner, A. D., Mayer, A. R., & Schacter, D. L. (2001). Can medial temporal lobe regions distinguish true from false? An event-related functional MRI study of veridical and illusory recognition memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 8*, 4805-4810.

Cahill, L., Babinsky, R., Markowitsch, H. J., & McGaugh, J. L. (1995). The amygdala and emotional memory. *Science, 377*, 295-296.

Cahill, L., Haier, R. J., Fallon, J., Alkire, M. T., Tang, C., Keator, D., Wu, J., & McGaugh, J. L. (1996). Amygdala activity at encoding correlated with long-term, free recall of emotional information. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 93*, 8016-8021.

Cahill, L., Prins, B., Weber, M., & McGaugh, J. L. (1994). -Adrenergic activation and memory for emotional events. *Nature, 371*, 702-704.

Calder, A. J., Keane, J., & Lawrence, A. D. (2003). Impaired recognition of human signals of anger following damage to the striatum. Abstract presented at the 10th Annual Meeting of the Cognitive Neuroscience Society, San Francisco, CA.

Calder, A. J., Lawrence, A. D., & Young, A. W. (2001). Neuropsychology of fear and loathing. *Neuroscience, 2*, 352-363.

Capitani, E., Laiacona, M., Mahon, B., & Caramazza, A. (2003). What are the facts of semantic categoryspecific deficits? A critical review of the clinical evidence. *Cognitive Neuropsychology, 20*, 213-261.

Caramazza, A. (1984). The logic of neuropsychological research and the problem of patient classification in aphasia. *Brain and Language, 21*, 9-20.

Caramazza, A. (1986). On drawing inferences about the structure of normal cognitive systems from the analysis of patterns of impaired performance: The case for single-patient studies. *Brain and Cognition, 5*, 41-66.

Caramazza, A., & Shelton, J. R. (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain: The animateinanimate distinction. *Journal of Cognitive Neuroscience, 10*, 1-34.

Carlson-Radvansky, L. A., Covey, E. S., & Lattanzi, K. M. (1999). «What» effects on «where»: Functional influences on spatial relations. *Psychological Science, 10*, 516-521.

Carrasco, M. (2004). Covert transient attention increases contrast sensitivity and spatial resolution: Support for signal enhancement. In L. Itti, G. Rees, & J. Tsotsos (Eds.), *Neurobiology of attention* (pp. 442-447). San Diego, CA: Elsevier.

Carruthers, P. (1992). *Human knowledge and human nature*. Oxford: Oxford University Press.

Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., & Cohen, J. D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science, 280*, 747-749.

Casey, B. J., Trainor, R. J., Orendi, J. L., Schubert, A. B., Nystrom, L. E., Giedd, J. N., *et al.* (1997). A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task. *Journal of Cognitive Neuroscience, 9*, 835-847.

Castelli, F., Happé, F., Frith, U., & Frith, C. D. (2000). Movement in mind: A functional imaging study of perception and interpretation of complex intentional movement patterns. *Neuroimage, 12*, 314-325.

Castiello, U., Lusher, D., Mari, M., Edwards, M., & Humphreys, G. W. (2002). Observing a human or a robotic hand grasping an object: Differential motor priming effects. In W. Prinz & B. Hommel (Eds.), *Common mechanisms in perception and action* (pp. 315-333). New York: Oxford University Press.

Cate, A., & Behrmann, M. (2002). Spatial and temporal influences on extinction in parietal patients. *Neuropsychologia, 40*, 2206-2225.

Cavanaugh, J. P. (1976). Holographic and trace-strength models of rehearsal effects in the item-recognition task. *Memory and Cognition, 4*, 186-199.

Cave, C. B., & Kosslyn, S. M. (1993). The role of parts and spatial relations in object identification. *Perception, 22*, 229-248.

Chambers, D., & Reisberg, D. (1992). What an image depicts depends on what an image means. *Cognitive Psychology, 24*, 145-174.

Chaminade, T., & Decety, J. (2002). Leader or follower? Involvement of the inferior parietal lobule in agency. *NeuroReport, 13*, 1975-1978.

Chaminade, T., Meary, D., Orliaguet, J. P., & Decety, J. (2001). Is perceptual anticipation a motor simulation? *NeuroReport, 12*, 3669-3674.

Chaminade, T., Meltzoff, A. N., & Decety, J. (2002). Does the end justify the means? A PET exploration of the mechanisms involved in human imitation. *Neuroimage, 12*, 318-328.

Chao, L. L., Haxby, J. V., & Martin, A. (1999). Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nature Neuroscience, 2*, 913-919.

Chao, L. L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *Neuroimage, 12*, 478-484.

Chao, L. L., Weisberg, J., & Martin, A. (2002). Experience-dependent modulation of category-related cortical activity. *Cerebral Cortex, 12*, 545-551.

Charness, N., & Campbell, J. I. (1988). Acquiring skill at mental calculation in adulthood: A task decomposition. *Journal of Experimental Psychology: General, 117*, 115-129.

Chartrand, T. L., & Bargh, J. A. (1999). The chameleon effect: The perception-behavior link and social interaction. *Journal of Personality and Social Psychology, 76*, 893-910.

Chase, W., & Simon, H. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology, 4*, 55-81.

Chater, N., Oaksford, M., Nakisa, R., & Redington, M. (2003). Fast, frugal, and rational: How rational norms explain behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 90*, 63-86.

Chein, J. M., & Fiez, J. A. (2001). Dissociation of verbal working memory system components using a delayed serial recall task. *Cerebral Cortex, 11*, 1003-1014.

Chen, K., & Wang, D. (2002). A dynamically coupled neural oscillator network for image segmentation. *Neural Networks, 15*, 423-439.

Chen, Y., Zhang, W., & Shen, Z. (2002). Shape predominant effect in pattern recognition of geometric figures of rhesus monkey. *Vision Research, 42*, 865-871.

Cheng, P. W., & Holyoak, K. J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology, 17*, 391-416.

Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and two ears. *Journal of the Acoustical Society of America, 25*, 975-979.

Chi, M. T. H., Feltovitch, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science, 5*, 121-152.

Chiodo, L., & Berger, T. (1986). Interactions between dopamine and amino-acid induced excitation and inhibition in the striatum. *Brain Research, 375*, 198-203.

Chochon, F., Cohen, L., van de Moortele, P. F., & Dehaene, S. (1999). Differential contributions of the left and right inferior parietal lobules to number processing. *Journal of Cognitive Neuroscience, 11*, 617-630.

Chomsky, N. (1957). *Syntactic structures*. Mouton: The Hague.

Chomsky, N. (1959). A review of B. F. Skinner's «Verbal Behavior.» *Language, 35*, 26-58.

Chomsky N. (1967). *Current issues in linguistic theory*. The Hague: Mouton.

Christianson, S. A. (1989). Flashbulb memories: Special, but not so special. *Memory and Cognition, 17*, 443.

Christianson, S. A. (1992). *The handbook of emotion and memory: Research and theory*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Chun, M. M., & Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*, 109-127.

Clemen, E. T., & Reilly, T. (2001). *Making hard decisions*. Pacific Grove, CA: Duxbury Press.

Clement, C. A., & Gentner, D. (1991). Systematicity as a selection constraint in analogical mapping. *Cognitive Science, 15*, 89-132.

Cochin, S. Barthelemy, C., Roux, S., & Martineau, J. (1999). Observation and execution of movement: Similarities demonstrated by quantified electroencephalography. *European Journal of Neuroscience, 11*, 1839-1842.

Cohen, J. D., Braver, T. S., & O'Reilly, R. (1996). A computational approach to prefrontal cortex, cognitive control and schizophrenia: Recent developments and current challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B351*, 1515-1527.

Cohen, J. D., Dunbar, K., & McClelland, J. L. (1990). On the control of automatic processes: A parallel distributed processing account of the Stroop effect. *Psychological Review, 97*, 332-361.

Cohen, J. D., Perstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J., & Smith, E. E. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature, 386*, 604-608.

Cohen, N. J., & Eichenbaum, H. E. (1993). *Memory, amnesia, and the hippocampal system*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Collette, F., Salmon, E., Van der Linden, M., Chicherio, C., Belleville, S., Degueldre, C., *et al.* (1999). Regional brain activity during tasks devoted to the central executive of working memory. *Cognitive Brain Research, 7*, 411-417.

Collins, A. M., & Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 8*, 240-247.

Coltheart, M., Inglis, L., Cupples, L., Michie, P., Bates, A., & Budd, B. (1998). A semantic subsystem of visual attributes. *Neurocase, 4*, 353-370.

Coltheart, V. (Ed.). (1999). *Fleeting memories: Cognition of brief visual stimuli*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Colvin, M. K., Dunbar, K., & Grafman, J. (2001). The effects of frontal lobe lesions on goal achievement in the water jug task. *Journal of Cognitive Neuroscience, 13*, 1129-1147.

Condillac, E. (1754a/1947). Traitè des sensations. In G. LeRoy (Ed.), *Oeuvres phiosophiques de Condillac, Volume 1*. Paris: Presses Universitaires.

Condillac, E. (1754b/1948). La Logique. In G. LeRoy (Ed.), *Oeuvres philosophiques de Condillac, Volume II*. Paris: Presses Universitaires.

Conrad, R., & Hull, A. J. (1964). Information, acoustic confusion, and memory span. *British Journal of Psychology, 55*, 429-432.

Constantinidis, C., & Steinmetz, M. A. (1996). Neuronal activity in posterior parietal area 7a during the delay periods of a spatial memory task. *Journal of Neurophysiology, 76*, 1352-1355.

Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle. R. W. (2005).

Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin and Review, 12*, 769-786.

Conway, M. A., Anderson, S. J., Larsen, S. F., Donnelly, C. M., McDaniel, M. S., & McClelland, A. G. R. (1994). The formation of flashbulb memories. *Memory and Cognition, 22*, 326-343.

Corbetta, M. (1998). Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: Identical, independent, or overlapping neural systems? *Proceedings of National Academy of Science, USA, 95*, 831-838.

Corbetta, M., Miezin, F. M., Dobmeyer, S., Shulman, G. L., & Petersen, S. E. (1990). Attentional modulation of neural processing of shape, color and velocity in humans. *Science, 248*, 1556-1559.

Corbetta, M., Miezin, F. M., Shulman, G. L., & Petersen, S. E. (1993). A PET study of visuospatial attention. *Journal of Neuroscience, 13*, 1202-1226.

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience, 3*, 201-215.

Coren, S., & Enns, J. T. (1993). Size contrast as a function of conceptual similarity between test and inducers. *Perception and Psychophysics, 54*, 579-588.

Corkin, S. (1984). Lasting consequences of bilateral medial temporal lobectomy: Clinical course and experimental findings in H. M. *Seminars in Neurology, 4*, 24-259.

Corkin, S., Amaral, D. G., González, R. G., Johnson, K. A., & Hyman, B. T. (1997). H. M.'s medial temporal lobe lesion: Findings from magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience, 17*, 3964-3979.

Cornsweet, T. N. (1970). *Visual perception*. New York: Academic Press.

Cosmides, L., & Tooby, J. (1992). Cognitive adaptations for social exchange. In J. Barkow, L. Cosmides, & J. Tooby (Eds.), *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture* (pp. 163-228). New York: Oxford University Press.

Cosmides, L., & Tooby, J. (1996). Are humans good intuitive statisticians after all? Rethinking some conclusions from the literature on judgment under uncertainty. *Cognition, 58*, 1-73.

Coull, J. T., Frith, C. D., Buechel, C., & Nobre, A. C. (2000). Orienting attention in time: Behavioral and neuroanatomical distinction between exogenous and endogenous shifts. *Neuropsychologia, 38*, 808-819.

Courtney, S. M., Ungerleider, L. G., Keil, K., & Haxby, J. V. (1996). Object and spatial visual working memory activate separate neural systems in human cortex. *Cerebral Cortex, 6*, 39-49.

Courtney, S. M., Ungerleider, L. G., Keil, K., & Haxby, J. V. (1997). Transient and sustained activity in a distributed neural system for human working memory. *Nature, 386*, 608-612.

Cowan, N. (1995). *Attention and memory.* Oxford: Oxford University Press.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences, 24*, 87-185.

Cowan, N., Day, L., Saults, J. S., Keller, T. A., Johnson, T., & Flores, L. (1992). The role of verbal output time in the effects of word length on immediate memory. *Journal of Memory and Language, 31*, 1-17.

Cowey, A., & Walsh, V. (2000). Magnetically induced phosphenes in sighted, blind and blindsighted observers. *NeuroReport, 11*, 3269-3273.

Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *11*, 671-684.

Craik, F. I., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General, 104*, 268-294.

Craik, F. I., Govoni, R., Naveh-Benjamin, M., & Anderson, N. D. (1996). The effects of divided attention on encoding and retrieval processes in human memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *125*, 159-180.

Craik, K. J. W. (1940). Visual adaptation. Unpublished doctoral thesis, Cambridge University, Cambridge, UK.

Cree, G. S, & McRae, K. (2003). Analyzing the factors underlying the structure and computation of the meaning of chipmunk, cherry, chisel, cheese, and cello (and many other such concrete nouns). *Journal of Experimental Psychology: General, 132*, 163-201.

Crick, F., & Koch, C. (1995). Are we aware of neural activity in primary visual cortex? *Nature, 375*, 121-123.

Crist, R. E., Li, W., & Gilbert, C. D. (2001). Learning to see: Experience and attention in primary visual cortex. *Nature Neuroscience, 4*, 519-525.

Crozier, S., Sirigu, A., Lehericy, S., van de Moortele, P. F., Pillon, B., & Grafman, J. (1999). Distinct prefrontal activations in processing sequence at the sentence and script level: An fMRI study. *Neuropsychologia, 37*, 1469-1476.

Cruse, D. A. (1977). The pragmatics of lexical specificity. *Journal of Linguistics, 13*, 153-164.

Curtis, C. E. (2005). Prefrontal and parietal contributions to spatial working memory. *Neuroscience, Dec. 2*.

Cutting, J. E., & Kozlowski, L. T. (1977). Recognising friends by their walk: Gait perception without familiarity cues. *Bulletin of the Psychonomic Society, 9*, 353-356.

Cynader, M. (1979). Competitive interactions in the development of the kitten's visual system. In R. D. Freeman (Ed.), *Developmental neurobiology of vision* (pp. 109-120). New York: Plenum Press.

Damasio, A. R. (1989). Time-locked multiregional retroactivation: A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition, 33*, 25-62.

Damasio, A. R. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain.* New York: Grosset/Putnam.

Damasio, A. R., & Damasio, H. (1994). Cortical systems for retrieval of concrete knowledge: The convergence zone framework. In C. Koch & J. L. Davis (Eds.), *Large-scale neuronal theories of the brain: Computational neuroscience* (pp. 61-74). Cambridge, MA: The MIT Press.

Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M., & Damasio, A. R. (1994). The return of Phineas Gage: Clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science, 264*, 1102-1105.

Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19*, 450-466.

Daugman, J. (1993). High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15*, 1148-1161.

Davachi, L., Mitchell, J., & Wagner, A. D. (2003). Multiple routes to memory: Distinct medial temporal lobe processes build item and source memories. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *100*, 2157-2162.

Davidson, R. J. (1998). Affective style and affective disorders: Perspectives from affective neuroscience. *Cognition and Emotion, 12*, 307-330.

Davidson, R. J. (2000). The neuroscience of affective style. In R. D. Lane & L. Nadel (Eds.), *Cognitive neuroscience of emotion* (pp. 371-388). New York: Oxford.

Davidson, R. J. (2002). Anxiety and affective style: Role of prefrontal cortex and amygdala. *Biological Psychiatry, 51*, 68-80.

Davidson, R. J., Ekman, P., Saron, C., Senulis, J., & Friesen, W. V. (1990). Approach/withdrawal and cerebral asymmetry: Emotional expression and brain physiology. *Journal of Personality & Social Psychology, 38*, 330-341.

Davidson, R. J., Jackson, D. C., & Kalin, N. H. (2000). Emotion, plasticity, context, and regulation: Perspectives from affective neuroscience. *Psychological Bulletin, 126*, 890-909.

Davis, M., & Whalen, P. J. (2001). The amygdala: vigilance and emotion. *Molecular Psychiatry, 6*, 13-34.

De Gelder, B., Vroomen, J., Pourtois, G., & Weiskrantz, L. (1999). Non-conscious recognition of affect in the absence of striate cortex. *NeuroReport, 10*, 3759-3763.

De Houwer, J., Thomas S., & Baeyens, F. (2001). Associative learning of likes and dislikes: A review of 25 years of research on human evaluative conditioning. *Psychological Bulletin, 127*, 853-869.

de Jong, R., Coles, M. G. H., & Logan, G. D. (1995). Strategies and mechanisms in nonselective and selective inhibitory motor control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*, 498-511.

De Renzi, E., & Nichelli, P. (1975). Verbal and nonverbal short term memory impairment following hemispheric damage. *Cortex, 11*, 341-353.

Decety, J. (1996). Do executed and imagined movements share the same central structures? *Cognitive Brain Research, 3*, 87-93.

Decety, J. (2002). Neurophysiological evidence for simulation of action. In J. Dokic & J. Proust, (Eds.), *Simulation and knowledge of action* (pp. 53-72). Philadelphia: Benjamins Publishing Company.

Decety, J., Chaminade, T., Grèzes, J., & Meltzoff, A. N. (2002). A PET exploration of the neural mechanisms involved in reciprocal imitation. *Neuroimage, 15*, 265-272.

Decety, J., & Grèzes, J. (1999). Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in Cognitive Sciences, 3*, 172-178.

Decety, J., Grèzes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., *et al.* (1997). Brain activity during observation of action: Influence of action content and subject's strategy. *Brain, 120*, 1763-1777.

Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M., & Pastène, J. (1991). Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behavioral Brain Research, 42*, 1-5.

Decety, J., Kawashima, R., Gulyas B., & Roland, P. (1992). Preparation for reaching: A PET study of the participating structures in the human brain. *NeuroReport, 3*, 761-764.

Decety, J., Perani, D., Jeannerod, M., Bettinardi, V., Woods, R., Maziotta, J. C., *et al.* (1994). Mapping motor representations with positron emission tomography. *Nature, 371*, 600-602.

Decety, J., & Sommerville, J. A. (2003). Shared representations between self and others: A social cognitive neuroscience view. *Trends in Cognitive Science, 7*, 527-533.

Deese, J. (1959). On the prediction of occurrence of particular verbal intrusions in immediate recall. *Journal of Experimental Psychology*, *58*, 17-22.

Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. *Science, 284*, 970-974.

Delgado, M. R., Nystrom, L. E., Fissell, K., Noll, D. C., & Fiez, J. A. (2000). Tracking the hemodynamic responses for reward and punishment in the striatum. *Journal of Neurophysiology, 84*, 3072-3077.

Dell, G. S., & Reich, P. A. (1981). Stages in sentence production: An analysis of speech error data. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 20*, 611-629.

Denis, M., & Kosslyn, S. M. (1999). Scanning visual images: A window on the mind. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition, 18*, 409- 465.

Descartes, René. (1641/1985). *The philosophical writings of Descartes* (Vols. 1 and 2), translated by J. Cottingham. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Desimone, R. (1996). Neural mechanisms for visual memory and their role in attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 93*, 13494-13499.

Desimone, R., Albright, T. D., Gross, C. G., & Bruce, C. (1984). Stimulus-selective properties of inferior temporal neurons in the macaque. *Journal of Neuroscience, 4*, 2051-2062.

Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience, 18*, 193-222.

D'Esposito, M., Aguirre, G. K., Zarahn, E., Ballard, D., Shin, R. K., & Lease, J. (1998). Functional MRI studies of spatial and nonspatial working memory. *Cognitive Brain Research, 7*, 1-13.

D'Esposito, M., Postle, B. R., Ballard, D., & Lease, J. (1999). Maintenance versus manipulation of information held in working memory: An event-related fMRI study. *Brain and Cognition, 41*, 66-86.

DeSousa, R. (1987). *The rationality of emotions.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Di Lollo, V., Enns, J. T., Rensink, R. A. (2000). Competition for consciousness among visual events: The psychophysics of reentrant visual processes. *Journal of Experimental Psychology: General, 129*, 481-507.

Diamond, A. (1985). Development of the ability to use recall to guide action, as indicated by infants' performance on A-not-B. *Child Development, 56*, 868-883.

Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 466-503). New York: Oxford University Press.

Diamond, R., & Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: An effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General, 115*, 107-117.

Dietrich, E., & Markman, A. (Eds.) (2000). *Cognitive dynamics: Conceptual change in humans and machines*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Dittrich, W. H. (1993). Action categories and the perception of biological motion. *Perception, 22*, 15-22.

Dobbins, I. G., Foley, H., Schacter, D. L., & Wagner, A. D. (2002). Executive control during episodic retrieval: Multiple prefrontal processes subserve source memory. *Neuron, 35*, 989-996.

Dodson, C. S., & Johnson, M. K. (1996). Some problems with the process-dissociation approach to memory. *Journal of Experimental Psychology: General, 125*, 181-194.

Dolan, R. (2002). Emotion, cognition, and behavior. *Science, 298*, 1191-1194.

Dominey, P., Decety, J., Broussolle, E., Chazot, G., & Jeannerod, M. (1995). Motor imagery of a lateralized sequential task is asymmetrically slowed in hemi-Parkinson's patients. *Neuropsychologia, 33*, 727-741.

Dowling, J. E. (1992). *Neurons and networks: An introduction to neuroscience*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.

Dowling, J. E. (2000). *Creating mind: How the brain works*. New York: W. W. Norton.

Dretske, F. (1995). *Naturalizing the mind*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Driver, J., & Spence, C. (1998). Crossmodal attention. *Current Opinions in Neurobiology, 8*, 245-253.

Dubner, R., & Zeki, S. M. (1971 ). Response properties and receptive fields of cells in an anatomically defined region of the superior temporal sulcus in the monkey. *Brain Research, 35*, 528-532.

Dunbar, K. (1993). Concept discovery in a scientific domain. *Cognitive Science, 17*, 397- 434.

Dunbar, K. (1997). «On-line» inductive reasoning in scientific laboratories: What it reveals about the nature of induction and scientific discovery. In *Proceedings of the Nineteenth*

*Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (pp. 191-192). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Dunbar, K. (1999). The scientist *in vivo:* How scientists think and reason in the laboratory. In L. Magnani, N. Nersessian, & P. Thagard (Eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 89-98). New York: Plenum Press.

Dunbar, K. (2000). How scientists think in the real world: Implications for science education. *Journal of Applied Developmental Psychology, 21*, 49-58.

Dunbar, K. (2002). Science as category: Implications of *in vivo* science for theories of cognitive development, scientific discovery, and the nature of science. In P. Caruthers, S. Stich, & M. Siegel (Eds.), *Cognitive models of science* (pp. 154-170). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Dunbar, K., & Blanchette, I. (2001). The *in vivo/in vitro* approach to cognition: The case of analogy. *Trends in Cognitive Sciences, 5*, 334-339.

Dunbar, K., & Sussman, D. (1995). Toward a cognitive account of frontal lobe function: Simulating frontal lobe deficits in normal subjects. *Annals of the New York Academy of Sciences, 769*, 289-304.

Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General, 113*, 501-517.

Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review, 96*, 433-458.

Duncan, J., Humphreys, G. W., & Ward, R. (1997). Competitive brain activity in visual attention. *Current Opinion in Neurobiology, 7*, 255-261.

Duncan, J., Seitz, R. J., Kolodny, J., Bor, D., Herzog, H. Ahmed, A., *et al.* (2000). A neural basis for general intelligence. *Science, 289*, 457- 460.

Durstewitz, D., Kelc, M., & Gunturkun, O. (1999). A neurocomputational theory of the dopaminergic modulation of working memory functions. *Journal of Neuroscience, 19*, 2807-2822.

Durstewitz, D., Seamans, J. K., & Sejnowski, T. J. (2000). Neurocomputational models of working memory. *Nature Neuroscience, 3*, 1184-1191.

Ebbinghaus, H. (1885/1964). *Memory: A contribution to experimental psychology*. New York: Dover.

Edwards, W. (1954). Theory of decision making. *Psychological Bulletin, 51*, 380-417.

Eich, J. E., Weingartner, H., Stillman, R. C., & Gillin, J. C. (1975). State-dependent accessibility of retrieval cues in the retention of a categorized list. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 14*, 408-417.

Eigsti, I., Zayas, V., Mischel, W., Shoda, Y., Ayduk, O., Dadlani, M. B., Davidson, M. C., Aber, J. L., & Casey, B. J. (in press). Predictive cognitive control from preschool to late adolescence and young adulthood. *Psychological Science*.

Eimer, M., & Driver, J. (2001). Crossmodal links in endogenous and exogenous spatial attention: Evidence from event-related brain potential studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 25*, 497-511.

Eimer, M., van Velzen, J., & Driver, J. (2002). Cross-modal interactions between audition, touch, and vision in endogenous spatial attention: ERP evidence on preparatory states and sensory modulations. *Journal of Cognitive Neuroscience, 14*, 254-271.

Einstein, A. (1945). A testimonial from Professor Einstein (Appendix II). In J. Hadamard (Ed.), *An essay on the psychology of invention in the mathematical field* (pp. 142-143). Princeton, NJ: Princeton University Press.

Ekman, P., & Friesen, W. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of Personality & Social Psychology, 17*, 124-129.

Eldridge, L. L., Knowlton, B. J., Furmanski, C. S., Bookheimer, S. Y., & Engel, S. A. (2000). Remembering episodes: A selective role for the hippocampus during retrieval. *Nature Neuroscience*, *3*, 1149-1152.

Ellis, N. C., & Hennelly, R. C. (1980). A bilingual word length effect: Implications for intelligence testing and the relative ease of mental calculations in Welsh and English. *British Journal of Psychology, 71*, 43-52.

Ellsberg, D. (1961). Risk, ambiguity, and the Savage axioms. *Quarterly Journal of Economics, 75*, 643-669.

Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science, 11*, 19-23.

Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 128*, 309-331.

Enns, J. T., & Prinzmetal, W. (1984). The role of redundancy in the object-line effect. *Perception and Psychophysics, 35*, 22-32.

Epstein, R., & Kanwisher, N. (1998). A cortical representation of the local visual environment. *Nature, 392*, 598-601.

Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1984). *Protocol analysis: Verbal reports as data*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Estes, W. K. (1972). An associative basis for coding and organization in memory. In A. W. Melton & E. Martin (Eds.), *Coding processes in human memory* (pp. 161-190). New York: Halstead Press.

Evans, J. St. B. T. (1989). *Bias in human reasoning*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Evans, J. St. B. T., Barston, J. L., & Pollard, P. (1983). On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory and Cognition, 11*, 295-306.

Fadiga, L., Craighero, L., Buccino, G., & Rizzolatti, G. (2002). Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: A TMS study. *European Journal of Neuroscience, 15*, 399-402.

Fadiga, L., Craighero, L., & Olivier, E. (2005). Human motor cortex excitability during the perception of others' action. *Current Opinion in Neurobiology, 15*, 213-218.

Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology, 73*, 2608-2611.

Falkenhainer, B., Forbus, K. D., & Gentner, D. (1989). The structure-mapping engine: Algorithm and examples. *Artificial Intelligence, 41*, 1-63.

Farah, M. J. (2000). The neural bases of mental imagery. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (2nd ed., pp. 965-974). Cambridge, MA: The MIT Press.

Farah, M. J., Hammond, K. M., Levine, D. L., & Calvanio, R. (1988). Visual and spatial imagery: Dissociable systems of representation. *Cognitive Psychology, 20*, 439-462.

Farah, M. J., & McClelland, J. L. (1991). A computational model of semantic memory impairment: Modality specificity and emergent category specificity. *Journal of Experimental Psychology: General, 120*, 339-357.

Farah, M. J., Soso, M. J., & Dasheiff, R. M. (1992). Visual angle of the mind's eye before and after unilateral occipital lobectomy. *Journal of Experimental Psychology: Human Performance and Perception, 18*, 241-246.

Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, H. M., & Tanaka, J. R. (1995). The inverted face inversion effect in prosopagnosia: Evidence for mandatory, face-specific perceptual mechanisms. *Vision Research, 35*, 2089-2093.

Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, M., & Tanaka, J. N. (1998). What is «special» about face perception? *Psychological Review, 105*, 482-498.

Farrer, C., Franck, N., Georgieff, N., Frith, C. D., Decety, J., & Jeannerod, M. (2003). Modulating agency: A PET study. *Neuroimage, 18*, 324-333.

Farrer, C., & Frith, C. D. (2002). Experiencing oneself vs. another person as being the cause of an action: The neural correlates of the experience of agency. *Neuroimage, 15*, 596-603.

Felleman, D. J., & Van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex, 1*, 1-47.

Fellows, L. K., & Farah, M. J. (2003). Ventromedial frontal cortex mediates affective shifting in humans: Evidence from a reversal learning paradigm. *Brain, 126*, 1830-1837.

Fellows, L. K., Heberlein, A. S., Morales, D. A., Shivde, G., Waller, S., & Wu, D. H. (2005). Method matters: An empirical study of impact in cognitive meuroscience. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*, 850-858.

Feltz, D. L., & Landers, D. M. (1983). The effects of mental practice on motor skill learning and performance: A meta-analysis. *Journal of Sport Psychology, 5*, 25-57.

Ferster, D., & Miller, K. D. (2000). Neural mechanisms of orientation selectivity in the visual cortex. *Annual Review of Neuroscience, 23*, 441-471.

Ferstl, E. C., & von Cramon, D. Y. (2002). What does the frontomedian cortex contribute to language processing: Coherence of theory of mind? *Neuroimage, 17*, 1599-1612.

Field, T. M., Woodson, R. W., Greenberg, R., & Cohen, C. (1982). Discrimination and imitation of facial expressions by neonates. *Science, 218*, 179-181.

Fiedler, K., Nickel, S., Muehlfriedel, T., & Unkelbach, C. (2001). Is mood congruency an effect of genuine memory or response bias? *Journal of Experimental Social Psychology, 37*, 201-214.

Fincham, J. M., Carter, C. S., van Veen, V., Stenger, V. A., & Anderson, J. R. (2002). Neural mechanisms of planning: A computational analysis using event-related fMRI. *Proceedings of the National Academy of Science, USA, 99*, 3346-3351.

Fink, G. R., Marshall, J. C., Halligan, P. W., Frith, C. D., Driver, J., Frackowiak, R. S. J., *et al.* (1999). The neural consequences of conflict between intention and the senses. *Brain, 122*, 497-512.

Finke, R. A. (1989). *Principles of mental imagery.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Finke, R. A., & Pinker, S. (1982). Spontaneous mental image scanning in mental extrapolation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 8*, 142- 147.

Finke, R. A., & Pinker, S. (1983). Directional scanning of remembered visual patterns. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 9*, 398-410.

Finkenauer, C., Luminet, O., Gisle, L., El-Ahmadi, A., Van Der Linden, M., & Philippot, P. (1998).

Flashbulb memories and the underlying mechanisms of their formation: Toward an emotionalintegrative model. *Memory and Cognition, 26*, 516-531.

Fiorillo, D. D., Tobler, P. N., & Schultz, W. (2003). Discrete coding of reward probability and uncertainty by dopamine neurons. *Science, 299*, 1898-1902.

Fiske, S. T., & Taylor, S. E. (1991). *Social cognition* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.

Fitts, P. M., & Deininger, R. L. (1954). S-R compatibility: Correspondence among paired elements within stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology, 48*, 483-492.

Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). *Human performance*. Oxford, UK: Brooks/Cole.

Flanagan, J. R., & Johansson, R. S. (2003). Action plans used in action observation. *Nature, 424*, 769-770.

Flege, J. E., Yeni-Komshian, G. H., & Liu, S. (1999). Age constraints on second-language acquisition. *Journal of Memory and Language, 41*, 78-104.

Fleming, K., Bigelow, L. E., Weinberger, D. R., & Goldberg, T. E. (1995). Neurophysiological effects of amphetamine may correlate with personality characteristics. *Psychopharmacology Bulletin, 31*, 357-362.

Fletcher, P. C., & Henson, R. N. (2001). Frontal lobes and human memory: Insights from functional neuroimaging. *Brain, 124*, 849-881.

Fodor, J. (1983). *Modularity of mind.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Forster, K. I. (1970). Visual perception of rapidly presented word sequences of varying complexity. *Perception and Psychophysics, 8*, 215-221.

Fox, C. R. (1999). Strength of evidence, judged probability, and choice under uncertainty. *Cognitive Psychology, 38*, 167-189.

Fox, C. R., & Tversky, A. (1995). Ambiguity, aversion and comparative ignorance. *Quarterly Journal of Economics, 110*, 585-603.

Fox, C. R., & Tversky, A. (1998). A belief-based account of decision under uncertainty. *Management Science, 44*, 879-895.

Fox, E., Russo, R., Bowles, R., & Dutton, K. (2001). Do threatening stimuli draw or hold attention in visual attention in subclinical anxiety? *Journal of Experimental Psychology: General, 130*, 681-700.

Francis, G., & Grossberg, S. (1996). Cortical dynamics of form and motion integration: Persistence, apparent motion, and illusory contours. *Vision Research, 36*, 149-173.

Frank, R. H. (1988). *Passions within reason: The strategic role of the emotions.* New York: Norton.

Franklin, B. (1772/1956). Letter to Joseph Priestly (originally written on September 19, 1772). Reprinted in W. B. Willcox (Ed.), *The papers of Benjamin Franklin* (Vol. 19, pp. 299-300). New Haven, CT: Yale University Press.

Frazier, L. (1987). Sentence processing: A tutorial review. In *Attention and performance XII: The psychology of reading* (pp. 559-586). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., & Miller, E. K. (2001). Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex. *Science, 291*, 312-316.

Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., & Miller, E. K. (2002). Visual categorization and the primate prefrontal cortex: Neurophysiology and behavior. *Journal of Neurophysiology, 88*, 929-941.

Frith, C. D. (1992). *The cognitive neuropsychology of schizophrenia.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Frith, C. D., Blakemore, S.-J., & Wolpert, M. M. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences, 355*, 1771-1788.

Fromkin, V. (1971). The non-anomalous nature of anomalous utterances. *Language, 47*, 27-52.

Frye, D. (1991). The origins of intention in infancy. In D. Frye & C. Moore (Eds.), *Children's theories of mind: Mental states and social understanding* (pp. 15-38). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Fugelsang, J., & Dunbar, K. (2005). Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia, 48*, 1204-1213.

Funahashi, S., Bruce, C. J., & Goldman-Rakic, P. S. (1989). Mnemonic coding of visual space in the monkey's dorsolateral prefrontal cortex. *Journal of Neurophysiology, 61*, 331-349.

Funahashi, S., Bruce, C. J., & Goldman-Rakic, P. S. (1993). Dorsolateral prefrontal lesions and oculomotor delayed-response performance: Evidence for mnemonic «scotomas.» *Journal of Neuroscience, 13*, 1479-1497.

Funayama, E. S., Grillon, C. G., Davis, M., & Phelps, E. A. (2001). A double dissociation in the affective modulation of startle in humans: Effects of unilateral temporal lobectomy. *Journal of Cognitive Neuroscience, 13*, 721-729.

Fuster, J. M. (1989). *The prefrontal cortex* (2nd ed.). New York: Raven Press.

Fuster, J. M. (1995). *Memory in the cerebral cortex*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Gabrieli, J. D., Cohen, N. J., & Corkin, S. (1988). The impaired learning of semantic knowledge following bilateral medial temporal-lobe resection. *Brain and Cognition*, *7*, 157-177.

Gabrieli, J. D. E., Desmond, J. E., Demb, J. B., Wagner, A. D., Stone, M. V., Vaidya, C. J., *et al.* (1996). Functional magnetic resonance imaging of semantic memory processes in the frontal lobes. *Psychological Science*, *7*, 278-283.

Gabrieli, J. D. E., Fleischman, D. A., Keane, M. A., Reminger, S. L., & Morrell, F. (1995). Double dissociation between memory systems underlying explicit and implicit memory in the human brain. *Psychological Science, 6*, 76-82.

Gainotti, G., Silveri, M. C., Daniele, A., & Giustolisi, L. (1995). Neuroanatomical correlates of categoryspecific semantic disorders: A critical survey. *Memory, 3*, 247-264.

Gallese, V., & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences, 2*, 493-501.

Gandhi, S. P., Heeger, D. J., & Boynton, G. M. (1999). Spatial attention affects brain activity in human primary visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 96*, 3314-3319.

Ganis, G., Thompson, W. L., & Kosslyn, S. M. (2004). Brain areas underlying visual imagery and visual perception: An fMRI study. *Cognitive Brain Research, 20*, 226-241.

Garavan, H. (1998). Serial attention within working memory. *Memory and Cognition, 26*, 263-276.

Gardener, R. A., & Gardener, B. T. (1969). Teaching sign language to an ape. *Science, 165*, 664-672.

Gardner, H. (1985). *The mind's new science: A history of the cognitive revolution*. New York: Basic Books.

Garrett, M. F. (1975). The analysis of sentence production. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 9, pp. 133-177). New York: Academic Press.

Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1989). Evaluation of the role of phonological STM in the development of vocabulary in children: A longitudinal study. *Journal of Memory and Language, 28*, 200-213.

Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature Neuroscience, 3*, 191-197.

Gauthier, I., Tarr, M. J., Anderson, A. W., Skudlarski, P., & Gore, J. C. (1999). Activation of the middle fusiform «face area» increases with expertise in recognizing novel objects. *Nature Neuroscience, 2*, 568-573.

Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (1998). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind*. New York: W. W. Norton & Company.

Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. (1993). A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science, 4*, 385-390.

Gehring, W. J., & Willoughby, A. R. (1999). The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses. *Science, 295*, 2279-2282.

Gennari, S. P., Sloman, S., Malt, B., & Fitch, T. (2002). Motion events in language and cognition. *Cognition, 83*, 49-79.

Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science, 7*, 155-170.

Gentner, D., & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist, 52*, 45-56.

Gentner, D., Rattermann, M. J., & Forbus, K. D. (1993). The roles of similarity in transfer: Separating retrievability from inferential soundness. *Cognitive Psychology, 25*, 524-575.

Gergely, G., Bekkering, H., & Kilary, I. (2002). Rational imitation in preverbal infants. *Nature, 415, 755*.

Gerlach, C., Marstrand, L., Habekost, T., & Gade, A. (2005). A case of impaired shape integration: Implications for models of visual object processing. *Visual Cognition, 12*, 1409-1443.

Gibbs, R. W. (1994). Figurative thought and language. In M. A. Gernsbacher (Ed.), *The handbook of psycholinguistics* (pp. 447- 477). San Diego, CA: Academic Press.

Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin.

Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology, 12,* 306-355.

Gigerenzer, G. (1994). Why the distinction between single-event probabilities and frequencies is important for psychology (and vice versa). In G. Wright & P. Ayton (Eds.), *Subjective probability* (pp. 129-161). New York: Wiley.

Gigerenzer, G., Todd, P. M., & the ABC Research Group. (1999). *Simple heuristics that make us smart*. New York: Oxford University Press.

Gilbert, D. T., & Wilson, T. D. (2000). Miswanting: Some problems in the forecasting of human affective states. In J. Forgas (Ed.), *Feeling and thinking: The role of affect in social cognition* (pp. 178-198).New York: Cambridge University Press.

Gilovich, T., Griffin, D., & Kahneman, D. (2002). *Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgment.* New York: Cambridge University Press.

Gladwell, M. (2002, August 5). The naked face. *The New Yorker*, pp. 38-49.

Glenberg, A. M. (1997). What memory is for. *Behavioral and Brain Sciences*, *20*, 1-55.

Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review, 9*, 558-569.

Glimcher, P. W. (2003). *Decisions, uncertainty, and the brain: The science of neuroeconomics.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Godden, D., & Baddeley, A. D. (1975). Context-dependent memory in two natural environments: On land and under water. *British Journal of Psychology, 66*, 325-331.

Goel, V., & Dolan, R. (2000). Anatomical segregation of component processes in an inductive inference task. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*, 110-119.

Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S. (1998). Neuroanatomical correlates of human reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*, 293-302.

Goel, V., & Grafman, J. (1995). Are the frontal lobes implicated in «planning» functions? Interpreting data from the Tower of Hanoi. *Neuropsychologia,* 33, 623-642.

Goldenberg, G., & Hagmann, S. (1997). The meaning of meaningless gestures: A study of visuo-motor apraxia. *Neuropsychologia, 35*, 333-341.

Goldenberg, G., Mullbacher, W., & Nowak, A. (1995). Imagery without perception-a case study of anosognosia for cortical blindness. *Neuropsychologia, 33*, 1373-1382.

Golding, E. (1981). The effect of unilateral brain lesion on reasoning. *Cortex, 17*, 3-40.

Goldman, A. I. (2002). Simulation theory and mental concepts. In J. Dokic & J. Proust (Eds.), *Simulation and knowledge of action* (pp. 2-19). Philadelphia: Benjamins Publishing Company.

Goldman-Rakic, P. S. (1987). Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of behavior by representational memory. In F. Plum & V. Mountcastle (Eds.), *Handbook of physiology: The nervous system* (Vol. 5, pp. 373-417). Bethesda, MD: American Physiological Society.

Gollan, T. H., & Acenas, L. R. (2004). What is a TOT? Cognate and translation effects on tip-of-the-tongue states in Spanish-English and Tagalog-English bilinguals. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 30*, 246-269.

Gonsalves, B., & Paller, K. A. (2000). Neural events that underlie remembering something that never happened. *Nature Neuroscience, 3*, 1316-1321.

Gonzalez, R., & Wu, G. (1999). On the shape of the probability weighting function. *Cognitive Psychology, 38*, 129-166.

Goodale, M. A., & Humphrey, G. K. (1998). The objects of action and perception. *Cognition, 67*, 181-207.

Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neuroscience, 15*, 20-25.

Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., & Carey, D. P. (1990). Kinematic analysis of limb movements in neuropsychological research: Subtle deficits and recovery of function. *Canadian Journal of Psychology, 44*, 180-195.

Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., & Carey, D. P. (1991). A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature, 349*, 154-156.

Goodglass, H., & Geschwind, N. (1976). Language disorders (aphasia). In E. C. Catarette & M. P. Friedman (Eds.), *Handbook of perception (Vol. 7, pp. 389-428): Language.* New York: Academic Press.

Goodman, N. (1955). *Fact, fiction, and forecast.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Goodman, N. (1976). *Languages of art.* Indianapolis, IN: Hackett.

Goolkasian, P. (1987). Ambiguous figures: Role of context and critical features. *Journal of General Psychology, 114*, 217-228.

Gordon, R. M. (1986). Folk psychology as simulation. *Mind and Language, 1*, 158-171.

Gorman, M. E. (1989). Error, falsification and scientific inference: An experimental investigation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology, 41A*, 385-412.

Gorman, M. E., Stafford, A., & Gorman, M. E. (1987). Disconfirmation and dual hypotheses on a more difficult version of Wasonís 2-4-6 task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 39A*, 1-28.

Gould, S. J. (1991). *Bully for brontosaurus: Reflections in natural history*. New York: Norton.

Graf, P., Squire, L. R., & Mandler, G. (1984). The information that amnesic patients do not forget. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 10*, 164-178.

Grafen, A. (2002). A state-free optimization model for sequences of behaviour. *Animal Behaviour, 63*, 183-191.

Grafton, S. T., Arbib, M. A., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. *Experimental Brain Research, 112*, 103-111.

Grafton, S. T., Hazeltine, E., & Ivry, R. (1995). Functional mapping of sequence learning in normal humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *7*, 497-510.

Gratton, G., & Fabiani, M. (2001a). The event-related optical signal: A new tool for studying brain function. *International Journal of Psychophysiology, 42*, 109-121.

Gratton, G., & Fabiani, M. (2001b). Shedding light on brain function: The event-related optical signal. *Trends in Cognitive Sciences, 5*, 357-363.

Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience, 6*, 316-322.

Greene, J. D., Sommerville, R. B., Nystrom, L. E., Darley, J. M., & Cohen, J. D. (2001). An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science, 293*, 2105- 2108.

Greeno, J. G. (1978). Natures of problem-solving abilities. In W. K. Estes (Ed.), *Handbook of learning and cognitive processes: Vol. V: Human information* (pp. 239-270). Oxford, UK: Lawrence Erlbaum Associates.

Greenspan, S. L. (1986). Semantic flexibility and referential specificity of concrete nouns. *Journal of Memory and Language, 25, 539-557.*

Greenwald, A. G. (1970). Sensory feedback mechanisms in performance control: With special reference to the ideo-motor mechanism. *Psychological Review, 77*, 73-99.

Gregory, R. L. (1961). The brain as an engineering problem. In W. H. Thorpe & O. L. Zangwill (Eds.), *Current problems in animal behaviour* (pp. 547-565). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Grether, D. M., & Plott, C. R. (1979). Economic theory of choice and the preference reversal phenomenon. *American Economic Review, 69*, 623-638.

Grèzes, J., Costes, N., & Decety, J. (1998). Top-down effect of the perception of human biological motion: A PET investigation. *Cognitive Neuropsychology, 15*, 553-582.

Grèzes, J., Costes, N., & Decety, J. (1999). The effect of learning and intention on the neural network involved in the perception of meaningless actions. *Brain, 122*, 1875-1887.

Grèzes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: A meta-analysis. *Human Brain Mapping, 12*, 1-19.

Grèzes, J., Fonlupt, P., Bertenthal, B., Delon, C., Segebarth, C., & Decety, J. (2001). Does perception of biological motion rely on specific brain regions? *Neuroimage, 13*, 775-785.

Grèzes, J., Frith, C. D., & Passingham, R. E. (2004). Inferring false beliefs from the actions of oneself and others: An fMRI study. *Neuroimage, 21*, 744-750.

Griggs, R. A., & Cox, J. R. (1982). The elusive thematic-materials effect in Wasonís selection task. *British Journal of Psychology, 73*, 407-420.

Grosjean, F. (1985). The recognition of words after their acoustic offset: Evidence and implications. *Perception and Psychophysics, 38*, 299-310.

Grosof, D. H., Shapley, R. M., & Hawken, M. J. (1993). Macaque V1 neurons can signal «illusory» contours. *Nature, 365*, 550-552.

Gross, J. J. (1998). Antecedent and response focused emotion regulation: Divergent consequences for experience, expression and physiology. *Journal of Personality and Social Psychology, 74*, 224-237.

Gross, J. J. (2002). Emotion regulation: Affective, cognitive, and social consequences. *Psychophysiology, 39*, 281-291.

Grossberg, S. (1980). How does the brain build a cognitive code? *Psychological Review, 87*, 1-51.

Grossberg, S., & Gutowski, W. E. (1987). Neural dynamics of decision making under risk: Affective balance and cognitive-emotional interactions. *Psychological Review, 94*, 300-318.

Grossman, E. E., & Blake, R. (2001). Brain activity evoked by inverted and imagined biological motion. *Vision Research, 41*, 1475-1482.

Grossman, M., Smith, E. E., Koenig, P., Glosser, G., DeVita, L., Moore, P., *et al.* (2002). The neural basis for categorization in semantic memory. *Neuroimage, 17*, 1549-1561.

Grossman, M., Smith, E. E., Koenig, P., Glosser, G., Rhee, J., & Dennis, K. (2003). Categorization of object descriptions in Alzheimer's disease and frontotemporal dementia: Limitation in rule-based processing. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 3*, 120-132.

Guajardo, J. J., & Woodward, A. L. (2004). Is agency skin-deep? Surface attributes influence infants' sensitivity to goal-directed action. *Infancy, 6*, 361-384.

Guildford, J. P., & Dallenbach, K. M. (1925). The determination of memory span by the method of constant stimuli. *Journal of Psychology, 36*, 621-628.

Gyllensten, L., Malmfors, T., & Norrlin, M. L. (1966). Growth alteration in the auditory cortex of visually deprived mice. *Journal of Comparative Neurology, 126*, 463-469.

Haggard, P. (2005). Conscious intention and motor cognition. *Trends in Cognitive Sciences, 9*, 290-295.

Hall, J., Parkinson, J. A., Connor, T. M., Dickinson, A., & Everitt, B. J. (2001). Involvement of the central nucleus of the amygdala and nucleus accumbens core in mediating Pavlovian influences on instrumental behaviour. *European Journal of Neuroscience, 13*, 1984-1992.

Halpern, A. R. (2001). Cerebral substrates of musical imagery. *Annals of the New York Academy of Sciences, 930*, 179-192.

Hamann, S. B., Ely, T. D., Grafton, S. T., & Kilts, C. D. (1999). Amygdala activity related to enhanced memory for pleasant and aversive stimuli. *Nature Neuroscience, 2*, 289-293.

Hamm, A. O., Weike, A. I., Schupp, H. T., Trieg, T., Dressel, A., & Kessler, C. (2003). Affective blindsight: Intact fear conditioning to a visual cue in a cortically blind patient. *Brain, 126*, 267-275.

Hammond, K. R. (1996). *Human judgment and social policy: Irreducible uncertainty, inevitable error, unavoidable injustice.* New York: Oxford University Press.

Hampton, J. A. (1979). Polymorphous concepts in semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 18*, 441-461.

Hanley, J. R., Young, A. W., & Pearson, N. A. (1991). Impairment of the visuo-spatial sketch pad.*Quarterly Journal of Experimental Psychology, 43A*, 101-125.

Hansen, C. H., & Hansen, R. D. (1988). Finding the face in the crowd: An anger superiority effect. *Journal of Personality and Social Psychology, 54*, 917-924.

Hari, R., Forss, N., Avikainen, S., Kirveskari, E., Salenius, S., & Rizzolatti, G. (1998). Activation of human primary motor cortex during action observation: A neuromagnetic study. *Proceedings National Academy of Science, USA, 95*, 15061-15065.

Harman, G. (1996). Rationality. In E. E. Smith & D. N. Osherson (Eds.), *An invitation to cognitive science: Thinking* (Vol. 3, pp. 175-211). Cambridge, MA: The MIT Press.

Harnad, S. (1990). The symbol grounding problem. *Physica D, 42*, 335-346.

Harris, P. L. (1989). *Children and emotion.* Oxford: Blackwell Publishers.

Hasher, L., & Zacks, R. T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General, 108*, 356-388.

Hastie, R., & Pennington, N. (2000). Explanation-based decision making. In T. Connolly, H. R. Arkes, & K. R. Hammond (Eds.), *Judgment and decision making: An interdisciplinary reader* (pp. 212-228). New York: Cambridge University Press.

Haugeland, J. (1991). Representational genera. In W. Ramsey, S. P. Stitch, & D. E. Rumelhart (Eds.), *Philosophy and connectionist theory* (pp. 61-89). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Hauser, M. D. (1996). *The evolution of communication*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Hauser, M. D., Chomsky, N., & Fitch, W. T. (2002). The faculty of language: What is it, who has it, and how did it evolve? *Science, 298*, 1569-1579.

Haxby, J. V., Gobbini, M. I., Furey, M. L., Ishai, A., Schouten, J. L., & Pietrini P. (2001). Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex. *Science, 293*, 2425-2430.

Heal, J. (1998). Co-cognition and off-line simulation: Two ways of understanding the simulation approach. *Mind and Language, 13*, 477-498.

Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior*. New York: Wiley.

Hebb, D. O., & Pennfield, W. (1940). Human behavior after extensive bilateral removals from the frontal lobes. *Archives of Neurology and Psychiatry, 4*, 421-438.

Hecht, H., Vogt, S., & Prinz, W. (2001). Motor learning enhances perceptual judgement: A case for actionperception transfer. *Psychological Research, 65*, 3-14.

Heider, F., & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *American Journal of Psychology, 57*, 243-259.

Heit, E. (2000). Properties of inductive reasoning. *Psychonomic Bulletin & Review, 7*, 569-592.

Hellige, J. B. (1993). *Hemispheric asymmetry: What's right and what's left*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (2003). Eye movements and visual memory: Detecting changes to saccade targets in scenes. *Perception and Psychophysics, 65*, 58-71.

Hernandez-Garcia, L., Wager, T. D., & Jonides, J. (2003). Functional brain imaging. In J. Wixted & H. Pashler (Eds.), *Stevens handbook of experimental psychology, Vol. 4: Methodology in experimental psychology* (3rd ed., pp. 175-221). New York: Wiley.

Herrnstein, R. J. (1990). Behavior, reinforcement and utility. *Psychological Science, 1*, 217-224.

Hesse, M. B. (1963). *Models and analogies in science*. London: Sheed and Ward.

Hesslow, G. (2002). Conscious thought as simulation of behaviour and perception. *Trends in Cognitive Sciences, 6*, 242-247.

Heuer, F., & Reisberg, D. (1992). Emotion, arousal, and memory for detail. In S. Christianson (Ed.), *The handbook of emotion and memory* (pp. 151-164). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Higuchi, S. I., & Miyashita, Y. (1996). Formation of mnemonic neuronal responses to visual paired associates in inferotemporal cortex is impaired by perirhinal and entorhinal lesions. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 93*, 739-743.

Hilgetag, C. C., Thâeoret, H., & Pascual-Leone, A. (2001). Enhanced visual spatial attention ipsilateral to rTMS-induced «virtual lesions» of human parietal cortex. *Nature Neuroscience, 4*, 953-957.

Hinson, J. M., Jameson, T. L., & Whitney, P. (2002). Somatic markers, working memory, and decision making. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 2*, 341-353.

Hintzman, D. L. (1986). «Schema abstraction» in a multiple-trace memory model. *Psychological Review, 93*, 411-428.

Hintzman, D. L., & Curran, T. (1994). Retrieval dynamics of recognition and frequency judgments: Evidence for separate processes of familiarity and recall. *Journal of Memory and Language, 33*, 1-18.

Hobson, R. P. (1989). On sharing experiences. *Development and Psychopathology, 1*, 197-203.

Hobson, R. P., & Lee, A. (1999). Imitation and identification in autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 10*, 649-659.

Hochberg, J. (1998). Gestalt theory and its legacy: Organization in eye and brain, in attention and mental representation. In J. Hochberg (Ed.), *Perception and cognition at century's end: Handbook of perception and cognition* (2nd ed., pp. 253-306). San Diego, CA: Academic Press.

Hockett, C. F. (1959). Animal «languages» and human language. *Human Biology, 31*, 32-39.

Hockett, C. F. (1960). The origin of speech. *Scientific American, 203*, 88-96.

Hockett, C. F. (1966). The problem of universals in language. In J. H. Greenberg (Ed.), *Universals of language* (2nd ed., pp. 1-29). Cambridge, MA: The MIT Press.

Hoffman, J. E., & Nelson, B. (1981). Spatial selectivity in visual search. *Perception and Psychophysics, 30*, 283-290.

Hoffman, J., & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception and Psychophysics, 57*, 787-795.

Holdstock, J. S., Mayes, A. R., Roberts, N., Cezayirli, E., Isaac, C. L., O'Reilly, R. C., *et al.* (2002). Under what conditions is recognition spared relative to recall after selective hippocampal damage in humans? *Hippocampus, 12*, 341-351.

Hollingworth, A., & Henderson, J. M. (1998). Does consistent scene context facilitate object perception? *Journal of Experimental Psychology: General, 127*, 398-415.

Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1989). Analogical mapping by constraint satisfaction. *Cognitive Science, 13*, 295-355.

Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1995). *Mental leaps*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Howard, R. J. (1996). A direct demonstration of functional specialization within motion-related visual and auditory cortex of the human brain. *Current Biology, 6*, 1015-1019.

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1959). Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology, 148*, 574-591.

Hugdahl, K., & Ohman, A. (1977). Effects of instruction on the acquisition and extinction of electrodermal responses to fear-relevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 3*, 608-618.

Hume, D. (1739). *A treatise of human nature* (L. A. Selby-Bigge, Ed.). Oxford: Clarendon Press.

Hummel, J. E., & Biederman, I. (1992). Dynamic binding in a neural network for shape recognition. *Psychological Review, 99*, 480-517.

Hummel, J. E., & Holyoak, K. J. (1997). Distributed representations of structure: A theory of analogical access and mapping. *Psychological Review, 104*, 427-466.

Hummel, J. E., & Holyoak, K. J. (2003). A symbolic-connectionist theory of relational inference and generalization. *Psychological Review, 110*, 220-264.

Humphreys, G. W., & Forde, E. M. E. (2001). Hierarchies, similarity, and interactivity in object recognition: «Category-specific» neuropsychological deficits. *Behavioral & Brain Sciences, 24*, 453-509.

Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (1987). To see but not to see: A case study of visual agnosia. London: Lawrence Erlbaum Associates.

Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (1993). Interactions between space and object systems revealed through neuropsychology. In D. Meyer & S. Kornblum (Eds.), *Attention and performance XIV* (pp. 143-162). Cambridge, MA: The MIT Press.

Husain, M., Shapiro, K., Martin, J., & Kennard, C. (1997). Abnormal temporal dynamics of visual attention in spatial neglect patients. *Nature, 385*, 154-156.

Huttenlocher, P. R. (1990). Morphometric study of human cerebral cortex development. *Neuropsychologia, 28*, 517-527.

Huttenlocher, P. R. (1993). Morphometric study of human cerebral cortex development. In M. H. Johnson (Ed.), *Brain development and cognition* (pp. 112-124). Oxford: Basil Blackwell Ltd.

Huttenlocher, P. R. (2002). *Neural plasticity: The effects of environment on the development of the cerebral cortex*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Hyde, T. S., & Jenkins, J. J. (1969). Differential effects of incidental tasks on the organization of recall of a list of highly associated words. *Journal of Experimental Psychology, 82*, 472-481.

Hyman, I. E., Husband, T. H., & Billings, F. J. (1995). False memories of childhood experiences. *Applied Cognitive Psychology, 9*, 181-197.

Hyman, I. E., Jr., & Pentland, J. (1996). The role of mental imagery in the creation of false childhood memories. *Journal of Memory and Language, 35*, 101-117.

Intraub, H. (1980). Presentation rate and the representation of briefly glimpsed pictures in memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 6*, 1-12.

Irwin, D. (1993). Perceiving an integrated visual world. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Eds.), *Attention and performance XIV*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Iversen, S. D., & Mishkin, M. (1970). Perseverative inference in monkeys following selective lesions of the inferior prefrontal convexity. *Experimental Brain Research, 11*, 376-386.

Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2001). Potential role of mental practice using motor imagery in neurological rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *82*, 1133-1141.

Jacob, P., & Jeannerod, M. (2005). The motor theory of social cognition: A critique. *Trends in Cognitive Sciences, 9*, 21-25.

Jacobs, R. A. (1999). Computational studies of the development of functionally specialized neural modules. *Trends in Cognitive Sciences, 3*, 31-38.

Jacoby, L. L., & Dallas, M. (1981). On the relationship between autobiographical memory and perceptual learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, *110*, 306-340.

Jacoby, L. L., & Kelley, C. M. (1991). Unconscious influences of memory: Dissociations and automaticity. In D. Milner & M. Rugg (Eds.), *Consciousness and cognition: Neuropsychological perspectives* (pp. 201-234). New York: Academic Press.

James, W. (1890). *Principles of psychology*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Janowsky, J. S., Shimamura, A. P., & Squire, L. R. (1989). Source memory impairment in patients with frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, *27*, 1043-1056.

Jared, D., & Seidenberg, M. S. (1991). Does word identification proceed from spelling to sound to meaning? *Journal of Experimental Psychology: General, 120*, 358-394.

Jarmasz, J., Herdman, C. M., & Johannsdottir, K. R. (2005). Object-based attention and cognitive tunneling. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 11*, 3-12.

Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia, 33*, 1419-1432.

Jeannerod, M. (1997). *The cognitive neuroscience of action.* Cambridge, MA: Blackwell Press.

Jenkins, W. M., Merzenich, M. M., Ochs, M. T., Allard, T. T., & Guic-Robles, E. (1990). Functional reorganization of primary somatosensory cortex in adult owl monkeys after behaviorally controlled tactile stimulation. *Journal of Neurophysiology, 63*, 82-104.

Jha, A. P., & McCarthy, G. (2000). The influence of memory load on delay-interval in a working-memory task: An event-related functional MRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*, 90-105.

Jiang, Y., Haxby, J. V., Martin, A., Ungerleider, L. G., & Parasuraman, R. (2000). Complementary neural mechanisms for tracking items in human working memory. *Science, 287*, 643-646.

Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis *Perception and Psychophysics, 14*, 201-211.

Johansson, G. (1975). Visual motion perception. *Scientific American, 232*, 76-88.

Johnson, J., & Newport, E. (1989). Critical period effects in second language learning: The influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognitive Psychology, 21*, 60-99.

Johnson, K. E., & Mervis, C. B. (1997). Effects of varying levels of expertise on the basic level of categorization. *Journal of Experimental Psychology: General, 126*, 248-277.

Johnson, M. K., Kim, J. K., & Risse, G. (1985). Do alcoholic Korsakoff's syndrome patients acquire affective reactions? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 11*, 22-36.

Johnson, M. K., Kounios, J., & Nolde, S. F. (1997). Electrophysiological brain activity and memory source monitoring. *NeuroReport*, *8*, 1317-1320.

Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. M. J. (1991). *Deduction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Johnson-Laird, P. N., Legrenzi, P., Girotto, V., Legrenzi, M. S., & Caverni, J.-P. (1999). Naive probability: A mental model theory of extensional reasoning. *Psychological Review, 106*, 62-88.

Johnson-Laird, P. N., Legrenzi, P., & Legrenzi, M. S. (1972). Reasoning and a sense of reality. *British Journal of Psychology, 63*, 395-400.

Johnson-Laird, P. N., & Steedman, M. (1978). The psychology of syllogisms. *Cognitive Psychology, 10*, 64-99.

Jolicoeur, P., Gluck, M., & Kosslyn, S. M. (1984). Pictures and names: Making the connection. *Cognitive Psychology, 16*, 243-275.

Jonides, J., Badre, D., Curtis, C., Thompson-Schill, S. L., & Smith, E. E. (2002). Mechanisms of conflict resolution in prefrontal cortex. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *The frontal lobes*. Oxford: Oxford University Press.

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review, 87*, 329-354.

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1987). *The psychology of reading and language comprehension*. Boston: Allyn & Bacon.

Kahneman, D., Knetsch, J. L., & Thaler, R. H. (1991). The endowment effect, loss aversion, and the status quo bias: Anomalies. *Journal of Economic Perspectives, 5*, 193-206.

Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (1982). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. New York: Cambridge University Press.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica, 47*, 263-291.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1982). The psychology of preferences. *Scientific American, 246*, 160-173.

Kandel, S., Orliaguet, J. P., & Boe, L. J. (2000). Detecting anticipatory events in handwriting movements. *Perception, 29*, 953-964.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin and Review, 9*, 637-671.

Kanizsa, G. (1979). *Organization of vision*. New York: Praeger.

Kanwisher, N. (1987). Repetition blindness: Type recognition without token individuation. *Cognition, 27*, 117-143.

Kanwisher, N. (1991). Repetition blindness and illusory conjunctions: Errors in binding visual types with visual tokens. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 17*, 404-421.

Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience, 17*, 4302-4311.

Kanwisher, N., Yin., C., & Wojciulik, E. (1997). Repetition blindness for pictures: Evidence for the rapid computation of abstract visual descriptions. In V. Coltheart (Ed.), *Cognition of brief visual stimuli* (pp. 119-150). Cambridge, MA: The MIT Press.

Kapadia, M. K., Westheimer, G., & Gilbert, C. D. (2000). Spatial distribution of contextual interactions in primary visual cortex and in visual perception. *Journal of Neurophysiology, 84*, 2048-2062.

Kapp, B. S., Supple, W. F., & Whalen, P. J. (1994). Stimulation of the amygdaloid central nucleus produces EEG arousal. *Behavioral Neuroscience, 108*, 81-93.

Kapp, B. S., Wilson, A., Pascoe, J. P., Supple, W., & Whalen, P. J. (1990). A neuroanatomical systems analysis of conditioned bradycardia in the rabbit. In M. Gabriel & J. Moore (Eds.), *Learning and computational neuroscience: Foundations of adaptive networks* (pp. 53-90). Cambridge, MA: The MIT Press.

Kapur, S., Craik, F. I. M., Tulving, E., Wilson, A. A., Houle, S., & Brown, G. M. (1994). Neuroanatomical correlates of encoding in episodic memory: Levels of processing effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *91*, 2008-2011.

Kastner, S., De Weerd, P., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (1998). Mechanisms of directed attention in the human extrastriate cortex as revealed by functional MRI. *Science, 282*, 108-111.

Kawamoto, A. H. (1993). Nonlinear dynamics in the resolution of lexical ambiguity: A parallel distributed processing account. *Journal of Memory and Language, 32*, 474-516.

Kay, J., & Ellis, A. (1987). A cognitive neuropsychological case study of anomia. Implications for psychological models of word retrieval. *Brain, 110*, 613-629.

Keane, M. (1987). On retrieving analogues when solving problems. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology, 39A*, 29-41.

Keenan, J. P., Wheeler, M. A., Gallup, G. G., & Pascual-Leone, A. (2000). Self-recognition and the right prefrontal cortex. *Trends in Cognitive Science, 4*, 338-344.

Keil, F. C. (1979). *Semantic and conceptual development: An ontological perspective*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Kellenbach, M. L., Brett, M., & Patterson, K. (2001). Large, colorful, and noisy? Attribute-and modalityspecific activations during retrieval of perceptual attribute knowledge. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 1*, 207-221.

Kelley, W. M., Miezin, F. M., McDermott, K. B., Buckner, R. L., Raichle, M. E., Cohen, N. J., *et al.* (1998). Hemispheric specialization in human dorsal frontal cortex and medial temporal lobe for verbal and nonverbal memory encoding. *Neuron, 20*, 927-936.

Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (1991). A theory of visual interpolation in object perception. *Cognitive Psychology, 23*, 141-221.

Kennett, S., Spence, C., & Driver, J. (2002). Visuo-tactile links in covert exogenous spatial attention remap across changes in unseen hand posture. *Perception and Psychophysics, 64*, 1083-1094.

Kenny, A. (1988). *The self*. Milwaukee, WI: Marquette University Press.

Kerzel, D., Bekkering, H., Wohlschlager, A., & Prinz, W. (2000). Launching the effect: Representations of causal movements are influenced by what they lead to. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Psychology, 53*, 1163-1185.

Kim, J.-M., & Shadlen, M. N. (1999). Neural correlates of a decision in the dorsolateral prefrontal cortex of the macaque. *Nature Neuroscience, 12*, 176-185.

Kim, K. S., Relkin, N. R., Lee, K. M., & Hirsch, J. (1997). Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature, 388*, 171-174.

Kimberg, D. Y., D'Esposito, M., & Farah, M. J. (1997). Effects of bromocriptine on human subjects depend on working memory capacity. *NeuroReport, 8*, 381-385.

King, R., Barchas, J. D., & Huberman, B. A. (1984). Chaotic behavior in dopamine neurodynamics. *Proceedings of the National Academy of Science, USA, 81*, 1244-1247.

Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. New York: Cambridge University Press.

Kirkpatrick, L. A., & Hazan, C. (1994). Attachment styles and close relationships: A four year prospective study. *Personal Relationships*, *1*, 123-142.

Kirwan, C. B., & Stark, C. E. (2004). Medial temporal lobe activation during encoding and retrieval of novel face-name pairs *Hippocampus, 14*, 919-930.

Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Klauer, K., Musch, J., & Naumer, B. (2000). On belief bias in syllogistic reasoning. *Psychological Review, 107*, 852-884.

Klayman, J., & Ha, Y. (1987). Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, *94*, 211-228.

Klein, G. S. (1964). Semantic power measured through the interference of words with color-naming. *American Journal of Psychology, 77*, 576-588.

Klein, I., Dubois, J., Mangin, J., Kherif, F., Flandin, G., Poline, J., Denis, M., Kosslyn, S. M., & Le Bihan, D. (2004). Retinotopic organization of visual mental images as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Cognitive Brain Research, 22*, 26-31.

Kleinschmidt, A., Buchel, C., Zeki, S., & Frackowiak, R. S. (1998). Human brain activity during spontaneously reversing perception of ambiguous figures. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Science, 265*, 2427-2433.

Kleinsmith, L. J., & Kaplan, S. (1963). Paired-associate learning as a function of arousal and interpolated interval. *Journal of Experimental Psychology, 65*, 190-193.

Kleist, K. C., & Furedy, J. J. (1969). Appetitive classical autonomic conditioning with subject-selected cool-puff UCS. *Journal of Experimental Psychology, 81*, 598-600.

Kling, A. S., & Brothers, L. A. (1992). The amygdala and social behavior. In J. P. Aggleton (Ed.), *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction* (pp. 353-377). New York: Wiley-Liss.

Knez, M., & Smith, V. L. (1987). Hypothetical valuations and preference reversals in the context of asset trading. In A. Roth (Ed.), *Laboratory experimentation in economics: Six points of view* (pp. 131-154). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Knill, D. C., & Richards, W. (1996). *Perception as Bayesian inference*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Knowlton, B. J., Mangels, J. A., & Squire, L. R. (1996). A neostriatal habit learning system in humans. *Science, 273*, 1399-1402.

Knowlton, B. J., Squire, L. R., & Gluck, M. A. (1994). Probabilistic category learning in amnesia. *Learning and Memory, 1*, 106-120.

Knutson, B., Adams, C. M., Fong, G. W., & Hommer, D. (2001). Anticipation of increasing monetary reward selectively recruits nucleus accumbens. *Journal of Neuroscience, 21*, RC159.

Knutson, B., Westdorp, A., Kaiser, E., & Hommer, D. (2000). fMRI visualization of brain activity during a monetary incentive delay task. *Neuroimage, 12*, 20-27.

Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulusresponse compatibility-a model and taxonomy. *Psychological Review, 97*, 253-270.

Kornblum, S., & Lee, J. W. (1995). Stimulus-response compatibility with relevant and irrelevant stimulus dimensions that do and do not overlap with the response. *Journal of Experimental Psychology, 21*, 855-875.

Koski, L., Iacoboni, M., & Mazziotta, J. C. (2002). Deconstructing apraxia: Understanding disorders of intentional movement after stroke. *Current Opinion in Neurology, 15*, 71-77.

Kosslyn, S. M. (1975). Information representation in visual images. *Cognitive Psychology, 7*, 341-370.

Kosslyn, S. M. (1978). Measuring the visual angle of the mind's eye. *Cognitive Psychology, 10*, 356-389.

Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Kosslyn, S. M. (1994). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Kosslyn, S. M., & Chabris, C. F. (1990). Naming pictures. *Journal of Visual Languages and Computing, 1*, 77-96.

Kosslyn, S. M., Pascual-Leone, A., Felician, O., Camposano, S., Keenan, J. P., Thompson, W. L., *et al.* (1999). The role of area 17 in visual imagery: Convergent evidence from PET and rTMS. *Science, 284*, 167-170.

Kosslyn, S. M., & Pomerantz, J. R. (1977). Imagery, propositions, and the form of internal representations. *Cognitive Psychology, 9*, 52-76.

Kosslyn, S. M., Shin, L. M., Thompson, W. L., McNally, P. J., Rauch, S. L., Pitman, R. K., *et al.* (1996). Neural effects of visualizing and perceiving aversive stimuli: A PET investigation. *NeuroReport, 7*, 1569-1576.

Kosslyn, S. M., & Thompson, W. L. (2003). When does visual mental imagery activate early visual cortex? *Psychological Bulletin, 129*, 723-746.

Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1997). Neural systems shared by visual imagery and visual perception: A positron emission tomography study. *NeuroImage, 6*, 320-324.

Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., & Ganis, G. (2006). *The case for mental imagery.* New York: Oxford University Press.

Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Kim, I. J., & Alpert, N. M. (1995). Topographical representations of mental images in primary visual cortex. *Nature, 378*, 496-498.

Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Wraga, M., & Alpert, N. M. (2001). Imagining rotation by endogenous versus exogenous forces: Distinct neural mechanisms. *NeuroReport, 12*, 2519-2525.

Koutstaal, W., Schacter, D. L., Galluccio, L., & Stofer, K. A. (1999). Reducing gist-based false recognition in older adults: Encoding and retrieval manipulations. *Psychology and Aging, 14*, 220-237.

Koutstaal, W., Vertaellie, M., & Schacter, D. L. (2001). Recognizing identical versus similar categorically related common objects: Further evidence for degraded gist representations in amnesia. *Neuropsychology, 15*, 268-289.

Kozlowski, L. T., & Cutting, J. E. (1977). Recognizing the sex of a walker from point-lights display. *Perception and Psychophysics, 21*, 575-580.

Krakauer, J., & Ghez, C. (2000). Voluntary movement. In E. Kandel, J. H. Schwartz, & T. M. Jessel (Eds.), *Principles of neural science* (pp. 756-781). New York: McGraw-Hill.

Krauss, R. M., & Fussell, S. R. (1991). Perspective-taking in communication: Representations of others' knowledge in reference. *Social Cognition, 9*, 2-24.

Krawczyk, D. C. (2002). Contributions of the prefrontal cortex to the neural basis of human decision making. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 26*, 631-664.

Krebs, J. R., & Davies, N. B. (1997). *Behavioural ecology: An evolutionary approach*. Malden, MA: Blackwell Science.

Krebs, J. R., & Kacelnik, A. (1991). Decision making. In J. R. Krebs & N. B. Davies (Eds.), *Behavioral ecology: An evolutionary approach* (pp. 105-136). Oxford: Blackwell Scientific Press.

Kroger, J. K., Sabb, F. W., Fales, C. L., Bookheimer, S. Y., Cohen, M. S., & Holyoak, K. J. (2002). Recruitment of anterior dorsolateral prefrontal cortex in human reasoning: A parametric study of relational complexity. *Cerebral Cortex, 12*, 477- 485.

Kubovy, M., Holcombe, A. O., & Wagemans, J. (1998). On the lawfulness of grouping by proximity. *Cognitive Psychology, 35*, 71-98.

Kubovy, M., & Wagemans, J. (1995). Grouping by proximity and multistability in dot lattices: A quantitative gestalt theory. *Psychological Science, 6*, 225-234.

Kulkarni, D., & Simon, H. A. (l988). The processes of scientific discovery: The strategy of experimentation. *Cognitive Science, 12*, 139-176.

Külpe, O. (1895). *Outlines of psychology* (trans. by E. B. Titchener). New York: Macmillan and Company.

Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working memory capacity? *Intelligence, 14*, 389-433.

Labar, K. S., Ledoux, J. E., Spencer, D. D., & Phelps, E. A. (1995). Impaired fear conditioning following unilateral temporal lobectomy in humans. *Journal of Neuroscience, 15*, 6846-6855.

LaBar, K. S., & Phelps, E. A. (1998). Role of the human amygdala in arousal mediated memory consolidation. *Psychological Science, 9*, 490-493.

Laeng, B., Chabris, C. F., & Kosslyn, S. M. (2002). Asymmetries in encoding spatial relations. In R. J. Davidson & K. Hugdahl (Eds.), *Brain asymmetry* (2nd edition). Cambridge, MA: The MIT Press.

Laeng, B., Shah, J., & Kosslyn, S. M. (1999). Identifying objects in conventional and contorted poses: Contributions of hemisphere-specific mechanisms. *Cognition, 70*, 53-85.

Lakoff, G. (1987). *Women, fire, and dangerous things: What categories reveal about the mind.* Chicago: University of Chicago Press.

Lamberts, K. (1998). The time course of categorization. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 24*, 695-711.

Land, E. H., & McCann, J. J. (1971). Lightness and retinex theory. *Journal of the Optical Society of America, 61*, 1-11.

Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1990). Emotion, attention and the startle reflex. *Psychological Review, 97*, 377-395.

Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1992). A motivational analysis of emotion: Reflex-cortex connections. *Psychological Science, 3*, 44-49.

Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2005). International affective picture system (IAPS): Digitized photographs, instruction manual and affective ratings (Technical Report A-6). Gainesville: University of Florida.

Lang, W., Petit, L., Höllinger, P., Pietrzyk, U., Tzourio, N., Mazoyer, B., & Berthoz, A. (1994). A positron emission tomography study of oculomotor imagery. *NeuroReport, 5*, 921- 924.

Lavenex, P., & Amaral, D. G. (2000). Hippocampal-neocortical interaction: A hierarchy of associativity. *Hippocampus, 10*, 420-430.

Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*, 451-468.

Lawrence, A. D., Clader, A. J., McGowan, S. W., & Grasby, M. (2002). Selective disruption of the recognition of facial expressions of anger. *NeuroReport, 13*, 881-884.

Lazarus, R. S. (1981). A cognitivist's reply to Zajonc on emotion and cognition. *American Psychologist, 36*, 222-223.

Lazarus, R. S. (1984). On the primacy of cognition. *American Psychologist, 39*, 124-129.

Lazarus, R. S. (1966). *Psychological stress and the coping process.* New York: McGraw-Hill.

Le, T. H., Pardo, J. V., & Hu, X. (1998). 4T-fMRI study of nonspatial shifting of selecting attention: cerebellar and parietal contributions. *Journal of Physiology, 79*, 1525-1548.

LeVay, S., Wiesel, T. N., & Hubel, D. H. (1980). The development of ocular dominance columns in normal and visually deprived monkeys. *Journal of Comparative Neurology, 191*, 1-51.

Ledoux, J. E. (1991). Emotion and the limbic system concept. *Concepts in Neuroscience 2*, 169-199.

Ledoux, J. E. (1992). Emotion and the amygdala. In J. P. Aggleton (Ed.), *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction* (pp. 339-351). New York: Wiley-Liss.

LeDoux, J. E., Iwata, J., Chicchetti, P., & Reis, D. J. (1988). Different projections of the central amygdaloid nucleus mediate autonomic and behavioral correlates of conditioned fear. *Journal of Neuroscience, 8*, 2517-2529.

Legerstee, M. (1991). The role of person and object in eliciting early imitation. *Journal of Experimental Child Psychology, 51*, 423-433.

Lehrer, K. (1990). *Theory of knowledge.* Boulder, CO: Westview.

Leland, J. W., & Grafman, J. (2005). Experimental tests of the Somatic Marker Hypothesis. *Games and Economic Behavior, 52*, 386-409.

Leopold, D. A., & Logothetis, N. K. (1996). Activity changes in early visual cortex reflect monkeys' percepts during binocular rivalry. *Nature, 379*, 549-553.

Leopold, D. A., O'Toole, A. J., Vetter, T., & Blanz, V. (2001). Prototype-referenced shape encoding revealed by high-level aftereffects. *Nature Neuroscience, 4*, 89-94.

Lettvin, J. Y., Maturana, H. R., McCulloch, W. S., & Pitts, W. H. (1959). What the frog's eye tells the frog's brain. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 47*, 1940-1951.

Levelt, W. J. M. (1965). *On binocular rivalry*. PhD thesis. Soesterberg, The Netherlands: Institute for Perception RVO-TNO.

Levelt, W. J. M. (1989). *Speaking: From intention to articulation.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Leven, S. J., & Levine, D. S. (1996). Multiattribute decision making in context: A dynamic neural network methodology. *Cognitive Science, 20*, 271-299.

Lewandowsky, S., Duncan, M., & Brown, G. D. (2004). Time does not cause forgetting in short-term serial recall. *Psychon Bull Rev, 11*, 771-790.

Lezak, M. D. (1983). *Neuropsychological assessment* (2nd ed.). New York: Oxford University Press.

Lichtenstein, S., & Slovic, P. (1971). Reversals of preference between bids and choices in gambling decisions. *Journal of Experimental Psychology, 89*, 46-55.

Lichtenstein, S., & Slovic, P. (1973). Response-induced reversals of preference in gambling: An extended replication in Las Vegas. *Journal of Experimental Psychology, 101*, 16-20.

Lichtenstein, S., Slovic, P., Fischhoff, B., Layman, M., & Combs, B. (1978). Judged frequency of lethal events. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 4*, 551-578.

Lickliter, R. (2000). The role of sensory stimulation in perinatal development: Insights from comparative research for care of the high-risk infant. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics, 21*, 437- 447.

Lieberman, M. D., Ochsner, K. N., Gilbert, D. T., & Schacter, D. L. (2001). Do amnesiacs exhibit cognitive dissonance reduction? The role explicit memory and attention in attitude change. *Psychological Science, 80*, 294-310.

Lindsay, D. S. (1990). Misleading suggestions can impair eyewitnesses' ability to remember event details. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 16*, 1077-1083.

Lindsay, P. H., & Norman, D. A. (1977). *Human information processing: An introduction to psychology* (2nd ed.). New York: Academic Press.

Lisman, J. E., & Idiart, M. A. P. (1995). Storage of 7 2 short-term memories in oscillatory subcycles. *Science, 267*, 1512-1515.

Liu, T., Slotnick, S. D., Serences, J. T., & Yantis, S. (2003). Cortical mechanisms of feature-based attentional control. *Cerebral Cortex, 13*, 1334-1343.

Livingstone, M. S., & Hubel, D. H. (1984). Anatomy and physiology of a color system in the primate visual cortex. *Journal of Neuroscience, 4*, 309-356.

Loewenstein, G. (1996). Out of control: Visceral influences on behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 65*, 272-292.

Loewenstein, G., & Lerner, J. S. (2003). The role of affect in decision making. In R. J. Davidson, K. R. Scherer, & H. H. Goldsmith (Eds.), *Handbook of affective sciences* (pp. 619-642). New York: Oxford University Press.

Loftus, E. F. (2005) A 30-year investigation of the malleability of memory. *Learning and Memory 12,* 361-366.

Loftus, E. F. & Bernstein, D. M. (2005). Rich False Memories. In A. F. Healy (Ed.) Experimental Cognitive Psychology and its Applications. Washington DC: *Amer Psych Assn Press,* 101-113.

Loftus, E. F., Miller, D. G., & Burns, H. J. (1978). Semantic integration of verbal information into a visual memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, *4*, 19-31.

Logan, G. D. (1983). On the ability to inhibit simple thoughts and actions: I. Stop-signal studies of decision and memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 9*, 585-606.

Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates.

Logothetis, N. K., Pauls, J., & Poggio, T. (1995). Shape representation in the inferior temporal cortex of monkeys. *Current Biology, 5*, 552-563.

Longoni, A. M., Richardson, J. T. E., & Aiello, A. (1993). Articulatory rehearsal and phonological storage in working memory. *Memory and Cognition, 21*, 11-22.

Loomes, G., & Sugden, R. (1982). Regret theory: An alternative theory of rational choice under uncertainty. *Economic Journal, 92*, 805-824.

Luce, P. A., & Pisoni, D. B. (1998). Recognizing spoken words: The neighborhood activation model. *Ear and Hearing, 19*, 1-36.

Luce, R. D. (1986). *Response times: Their role in inferring elementary mental organization*. New York: Oxford University Press.

Luciana, M., Collins, P. F., & Depue, R. A. (1998). Opposing roles for dopamine and serotonin in the modulation of human spatial working memory functions. *Cerebral Cortex, 8*, 218-226.

Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (2000). The operation of selective attention at multiple stages of processing: Evidence from human and monkey electrophysiology. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences* (2nd ed., pp. 687-700). Cambridge, MA: The MIT Press.

Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books.

MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science, 288*, 1835-1838.

MacDonald, M. C., Pearlmutter, N. J., & Seidenberg, M. S. (1994). The lexical nature of syntactic ambiguity resolution. *Psychological Review, 89*, 483-506.

Mach, E. (1865). Über die Wirkung der raumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut. *I. S.-B. Akad. Wiss. Wein. math.-nat. Kl., 54*, 303-322 (trans. by Ratliff, 1965).

Mack, A., & Rock, I. (1998). *Inattentional blindness*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Maia, T. V., & McClelland, J. L. (2004). A reexamination of evidence for the somatic marker hypothesis: What participants really know in the Iowa gambling task. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 101*, 16075-16080.

Malle, B. F. (1999). How people explain behavior: A new empirical framework. *Personality and Social Psychology Review, 3*, 23-48.

Malloy, P., Bihrle, A., Duffy, J., & Cimino, C. (1993). The orbital frontal syndrome. *Archives of Clinical Neuropsychology, 8*, 185-201.

Malt, B. C. (1995). Category coherence in cross-cultural perspective. *Cognitive Psychology, 29*, 85-148.

Mandler, J. M., & McDonough, L. (1998). Studies in inductive inference in infancy. *Cognitive Psychology, 37*, 60-96.

Mandler, J. M., & McDonough, L. (2000). Advancing downward to the basic level. *Journal of Cognition and Development, 1*, 379-403.

Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1991). Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 17*, 1057-1074.

Manns, J. R., Hopkins, R. O., Reed, J. M., Kitchener, E. G., & Squire, L. R. (2003a). Recognition memory and the human hippocampus. *Neuron, 37*, 171-180.

Manns, J. R., Hopkins, R. O., & Squire, L. R. (2003b). Semantic memory and the human hippocampus. *Neuron, 38*, 127-133.

Markman, A. B., & Gentner, D. (2001). Thinking. *Annual Review of Psychology, 52*, 223-247.

Markman, A. B., & Medin, D. L. (1995). Similarity and alignment in choice. *Organizational Behavior & Human Decision Processes, 63*, 117-130.

Markovits, H., & Nantel, G. (1989). The belief-bias effect in the production and evaluation of logical conclusions. *Memory & Cognition, 17*, 11-17.

Markus, G. B. (1986). Stability and change in political attitudes: Observed, recalled, and «explained.» *Political Behavior, 8*, 21- 44.

Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. New York: Freeman.

Marshuetz, C., Smith, E. E., Jonides, J., DeGutis, J., & Chenevert, T. L. (2000). Order information in working memory: fMRI evidence for parietal and prefrontal mechanisms. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*, 130-144.

Marslen-Wilson, W. D. (1984a). Function and process in spoken word-recognition. In H. Bouma & D. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance X: Control of language processes*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Marslen-Wilson, W. D. (1984b). Perceiving speech and perceiving words. In M. P. R. van de Broecke & A. Cohen (Eds.), *Proceedings of the Tenth International Congress of the Phonetic Sciences*. Dordrecht, Holland: Foris.

Marslen-Wilson, W. D., & Warren, P. (1994). Levels of perceptual representation and process in lexical access: Words, phonemes, and features. *Psychological Review, 101*, 653- 675.

Martin, A. (2001). Functional neuroimaging of semantic memory. In R. Cabeza & A. Kingstone (Eds.), *Handbook of functional neuroimaging of cognition* (pp. 153-186). Cambridge, MA: The MIT Press.

Martin, A., & Chao, L. L. (2001). Semantic memory and the brain: Structure and process. *Current Opinion in Neurobiology, 11*, 194-201.

Martin, A., Haxby, J. V., Lalonde, F. M., Wiggs, C. L., & Ungerleider, L. G. (1995). Discrete cortical regions associated with knowledge of color and knowledge of action. *Science, 270*, 102-105.

Martin, A., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (2000). Category-specificity and the brain: The sensorymotor model of semantic representations of objects. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences* (2nd ed., 1023-1036). Cambridge, MA: The MIT Press.

Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1996). Nerual correlates of category-specific knowledge. *Nature, 379*, 649-652.

Martineau, J., & Cochin, S. (2003). Visual perception in children: Human, animal and virtual movement activates different cortical areas. *International Journal of Psychophysiology, 51*, 37-44.

Massaro, D. W., & Stork, D. G. (1998). Sensory integration and speechreading by humans and machines. *American Scientist, 86*, 236-244.

Mattay, V. S., Goldberg, T. E., Fera, F., Hariri, A. R., Tessitore, A., Egan, M. F., *et al.* (2003). COMT genotype and individual variation in the brain response to amphetamine. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 100*, 6186-6191.

McCarthy, G., Puce, A., Gore, J. C., & Allison, T. (1997). Face-specific processing in the human fusiform gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience, 9*, 605-610.

McClelland, J. L., McNaughton, B. L., & O'Reilly, R. C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: Insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory. *Psychological Review, 102*, 419-457.

McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 1. An account of basic findings. *Psychological Review, 88*, 375-407.

McClelland, J. L., Rumelhart, D. E., & the PDP Research Group. (1986). *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition: Vol. 2. Psychological and biological models*. Cambridge, MA: The MIT Press.

McCloskey, M., & Zaragoza, M. (1985). Misleading postevent information and memory for events: Arguments and evidence against memory impairment hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: General, 114*, 1-16.

McClure, S. M., Laibson, D. I., Loewenstein, G., & Cohen, J. D. (2005a). Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. *Science, 306*, 503-507.

McClure, S. M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K. S., Montague, L. M., & Montague, P. R. (2005b). Neural correlates of behavioral preference for culturally familiar drinks. *Neuron, 44*, 379-387.

McElree, B., & Dosher, B. A. (1989). Serial position and set size in short-term memory: The time course of recognition. *Journal of Experimental Psychology: General, 118*, 346-373.

McEwen, B. S., & Sapolsky, R. M. (1995). Stress and cognitive function. *Current Opinion in Neurobiology, 5*, 205-216.

McFarland, C., & Ross, M. (1987). The relation between current impressions and memories of self and dating partners. *Personality and Social Psychology Bulletin, 13*, 228- 238.

McGaugh, J. L. (2000). Memory-A century of consolidation. *Science, 287*, 248-251.

McGaugh, J. L., Introini-Collision, I. B., Cahill, L., Munsoo, K., & Liang, K. C. (1992). Involvement of the amygdala in neuromodulatory influences on memory storage. In J. P. Aggleton (Ed.), *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction* (pp. 431-451). New York: Wiley-Liss.

McGeogh, J. A. (1942). *The psychology of human learning*. New York: Longmans, Green.

McGeogh, J. A., & McDonald, W. T. (1931). Meaningful relation and retroactive inhibition. *American Journal of Psychology, 43*, 579-588.

McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature, 264*, 746-748.

McNeil, B. J., Pauker, S. G., Sox, H. C., & Tversky, A. (1982). On the elicitation of preferences for alternative therapies. *New England Journal of Medicine, 306*, 1259-1262.

McQueen, J. M. (1998). Segmentation of continuous speech using phonotactics. *Journal of Memory and Language, 39*, 21-46.

Meadows, J. C. (1974). The anatomical basis of prosopagnosia. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 37*, 489-501.

Medin, D. L., & Schaffer, M. (1978). A context theory of classification learning. *Psychological Review, 85*, 207-238.

Mehra, R., & Prescott, E. C. (1985). The equity premium: A puzzle. *Journal of Monetary Economics, 15*, 145-161.

Mellers, B. A. (2000). Choice and the relative pleasure of consequences. *Psychological Bulletin, 126*, 910-924.

Melton, A. W., & Irwin, J. M. (1940). The influence of degree of interpolated learning on retroactive inhibition and the overt transfer of specific responses. *American Journal of Psychology, 53*, 173-203.

Meltzoff, A. N. (1995). Understanding the intentions of others: Re-enactment of intended acts by 18-month-old children. *Developmental Psychology, 31*, 838-850.

Meltzoff, A. N., & Gopnik, A. (1993). The role of imitation in understanding persons and developing a theory of mind. In S. Baron-Cohen, H. Tage-Flushberg, & D. J. Cohen (Eds.), *Understanding other minds* (pp. 9-35). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science, 198*, 75-78.

Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1995). Infants' understanding of people and things: From body imitation to folk psychology. In J. Bermúdez, A. J. Marcel, & N. Eilan (Eds.), *Body and the self* (pp. 43-69). Cambridge, MA: The MIT Press.

Mervis, C. B., & Pani, J. R. (1980). Acquisition of basic object categories. *Cognitive Psychology, 12*, 496-522.

Merzenich, M. M., & Kaas, J. H. (1982). Reorganization of mammalian somatosensory cortex following peripheral nerve injury. *Trends in Neurosciences, 5*, 434- 436.

Mesulam, M. M. (1998). From sensation to cognition. *Brain, 121*(Pt 6), 1013-1052.

Metcalfe, J., & Shiamura, A. P. (1994). *Metacognition: Knowing about knowing*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Meyer, D. E., Evans, J. E., Lauber, E. J., Rubinstein, J., Gmeindl, L., Junck, L., *et al.* (1998). *The role of dorsolateral prefrontal cortex for executive cognitive processes in task switching*. Paper presented at the Cognitive Neuroscience Society, San Francisco.

Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997a). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1. Basic mechanisms. *Psychological Review, 104*, 3-65.

Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997b). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 2. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review, 104*, 749-791.

Milham, M. P., Banich, M. T., Webb, A., Barad, V., Cohen, N. J., Wszalek, T., *et al.* (2001). The relative involvement of anterior cingulate and prefrontal cortex in attentional control depends on nature of conflict. *Cognitive Brain Research, 12*, 467-473.

Miller, E. K. (2000). The prefrontal cortex and cognitive control. *Nature Reviews Neuroscience, 1*, 59-65.

Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience, 21*, 167-202.

Miller, E. K., & Desimone, R. (1994). Parallel neuronal mechanisms for short-term memory. *Science, 263*, 520-522.

Miller, E. K., Erickson, C. A., & Desimone, R. (1996). Neural mechanisms of visual working memory in prefrontal cortex of the macaque. *Journal of Neuroscience, 16*, 5154-5167.

Miller, E. K., Freedman, D. J., & Wallis, J. D. (2002). The prefrontal cortex: Categories, concepts and cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences, 357*, 1123-1136.

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 63*, 81-97.

Mills, B., & Levine, D. S. (2002). A neural theory of choice in the Iowa gambling task. Unpublished paper, University of Texas, Arlington.

Milner, A. D., Perrett, D. I., Johnston, R. S., Benson, P. J., Jordan, T. R., Heeley, D. W., *et al.* (1991). Perception and action in «visual form agnosia.» *Brain, 114*(Pt 1B), 405-428.

Milner, B. (1962). Les troubles de la mémoire accompagnant des lésions hippocampiques bilatérales. In P. Passouant (Ed.), *Physiologie de l'hippocampe* (pp. 257-272). Paris: Centre de la Recherche Scientifique.

Milner, B. (1964). Some effects of frontal lobectomy on man. In J. M. Warren & K. Akerts (Eds.), *The frontal granular cortex and behaviour* (pp. 313-334). New York: McGraw-Hill.

Milner, B. (1966). Amnesia following operation on the temporal lobes. In C. W. M. Whitty & O. L. Zangwill (Eds.), *Amnesia* (pp. 109-133). London: Butterworths.

Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin, 27*, 272-277.

Milner, B. (1972). Disorders of learning and memory after temporal lobe lesions in man. *Clinical Neurosurgery, 19*, 421-446.

Milner, B., Corsi, P., & Leonard, G. (1991). Frontal lobe contribution to recency judgments. *Neuropsychologia, 29*, 601-618.

Mineka, S., Davidson, M., Cook, M., & Keir, R. (1984). Observational conditioning of snake fear in rhesus monkeys. *Journal of Abnormal Psychology, 93*, 355-372.

Minsky, M. (1986). *The society of mind*. New York: Simon and Schuster.

Minsky, M., & Pappert, S. (1969). *Perceptrons*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Miyake, A., & Shah, P. (Eds.). (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York: Cambridge University Press.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). Fractionating the central executive: Evidence for separability of executive functions. *Cognitive Psychology, 41*, 49-100.

Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K., & Dagher, A. (2001). Wisconsin card sorting revisited: Distinct neural circuits participating in different stages of the task identified by

event-related functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience, 21*, 7733-7741.

Monsell, S. (1978). Recency, immediate recognition memory, and reaction time. *Cognitive Psychology, 10*, 465-501.

Montague, P. R., & Berns, G. S. (2002). Neural economics and biological substrates of valuation. *Neuron, 36*, 265-284.

Moran, J., & Desimone, R. (1985). Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science, 229*, 782-784.

Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 11*, 56-60.

Moray, N. (1970). Attention: Selective processes in vision and audition. New York: Academic Press.

Morris, C. D., Bransford, J. D., & Franks, J. J. (1977). Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 16*, 519-533.

Morris, J. S., Buchel, C., & Dolan, R. J. (2001a). Parallel neural responses in amygdala subregions and sensory cortex during implicit fear conditioning. *Neuroimage, 13*, 1044-1052.

Morris, J. S., Degelder, B., Weiskrantz, L., & Dolan, R. J. (2001b). Differential extrageniculostriate and amygdala responses to presentation of emotional faces in a cortically blind field. *Brain, 124*, 1241-1252.

Morris, J. S., Friston, K. J., Buchel, C., Frith, C. D., Young, A. W., Calder, A. J., *et al.* (1998). A neuromodulatory role for the human amygdala in processing emotional facial expressions. *Brain, 121*(Pt. 1), 47-57.

Moscovitch, M., & Craik, F. I. M. (1976). Depth of processing, retrieval cues, and uniqueness of encoding as factors in recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 15*, 447-458.

Moscovitch, M., Winocur, G., & Behrmann, M. (1997). What is special about face recognition? Nineteen experiments on a person with visual object agnosia and dyslexia but normal face recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience, 9*, 555-604.

Motter, B. C. (1993). Focal attention produces spatially selective processing in visual cortical areas V1, V2, and V4 in the presence of competing stimuli. *Journal of Neurophysiology 70*, 909-919.

Mountcastle, V. B., Motter, B. C., Steinmetz, M. A., & Sestokas, A. K. (1987). Common and differential effects of attentive fixation on the excitability of parietal and prestriate (V4) cortical visual neurons in the macaque monkey. *Neuroscience, 7*, 2239-2255.

Muller, M. M., & Hillyard, S. (2000). Concurrent recording of steady-state and transient event-related potentials as indices of visual-spatial selective attention. *Clinical Neurophysiology, 111*, 1544-1552.

Muller, N., & Hulk, A. (2001). Crosslinguistic influence in bilingual language acquisition: Italian and French as recipient languages. *Bilingualism: Language and Cognition, 4*, 1-53.

Münte, T. F., Altenmüller, E., & Jäncke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Reviews Neuroscience, 3*, 473- 478.

Murphy, G. L. (2000). Explanatory concepts. In F. C. Keil & R. A. Wilson (Eds.), *Explanation and cognition* (pp. 361-392). Cambridge, MA: The MIT Press.

Murphy, G. L. (2002). *The big book of concepts*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Murphy, G. L., & Brownell, H. H. (1985). Category differentiation in object recognition: Typicality constraints on the basic category advantage. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 11*, 70-84.

Murphy, G. L., & Lassaline, M. E. (1997). Hierarchical structure in concepts and the basic level of categorization. In K. Lamberts & D. R. Shanks (Eds.), *Knowledge, concepts and categories*. (pp. 93-131). Cambridge, MA: The MIT Press.

Murphy, G. L., & Medin, D. L. (1985). The role of theories in conceptual coherence. *Psychological Review, 92*, 289-316.

Murray, E. A., & Mishkin, M. (1986). Visual recognition in monkeys following rhinal cortical ablations combined with either amygdalectomy or hippocampectomy. *Journal of Neuroscience, 6*,
1991-2003.

Mushiake, H., Inase, M., & Tanji, J. (1991). Neuronal activity in the primate premotor, supplementary and precentral motor cortex during visually guided and internally determined sequential movements. *Journal of Neurophysiology, 66*, 705-718.

Müssler, J., & Hommel, B. (1997). Blindness to response-compatible stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 23*, 861-872.

Nadel, J., & Butterworth, G. (1999). *Imitation in infancy*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Nadel, J., Guérini, C., Pezé, A., & Rivet, A. (1999). The evolving nature of imitation as a format for communication. In J. Nadel & G. Butterworth (Eds.), *Imitation in infancy* (pp. 209-234). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Nadel-Brufert, J., & Baudonnière, P. M. (1982). The social function of reciprocal imitation in 2-year-old peers. *International Journal of Behavioral Development, 5*, 95-109.

Nairne, J. S. (2002). Remembering over the short-term: The case against the standard model. *Annual Review of Psychology, 53*, 53-81.

Naito, E., Roland, P. E., & Ehrsson, H. H. (2000). I feel my hand moving: A new role of the primary motor cortex in somatic perception of limb movement. *Neuron, 36*, 979-988.

Nakayama, K., & Silverman, G. H. (1986). Serial and parallel processing of visual feature conjunctions. *Nature, 320*, 264-265.

Nakazawa, K., Quirk, M. C., Chitwood, R. A., Watanabe, M., Yeckel, M. F., Sun, L. D., *et al.* (2002). Requirement for hippocampal CA3 NMDA receptors in associative memory recall. *Science, 297*, 211-218.

Nasrallah, H., Coffman, J., & Olsen, S. (1989). Structural brain-imaging findings in affective disorders: An overview. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience, 1*, 21-32.

Naya, Y., Yoshida, M., & Miyashita, Y. (2001). Backward spreading of memory-retrieval signals in the primate temporal cortex. *Science, 291*, 661-664.

Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.

Neisser, U., & Becklen, R. (1975). Selective looking: Attending to visually specified events. *Cognitive Psychology, 7*, 480- 494.

Neisser, U., & Harsch, N. (1992). Phantom flashbulbs: False recollections of hearing news about the *Challenger*. In E. Winograd & U. Neisser (Eds.), *Affect and accuracy in recall: Studies of «flashbulb» memories* (pp. 9-31). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Neisser, U., Winograd, E., Bergman, E. T., Schreiber, C. A., Palmer, S. E., & Weldon, M. S. (1996). Remembering the earthquake: Direct experience vs. hearing the news. *Memory, 4*, 337-357.

Neri, P., Morrone, M. C., & Burr, D. C. (1998). Seeing biological motion. *Nature, 395*, 894-896.

Neville, H. J., & Bavelier, D. (1998). Neural organization and plasticity of language. *Current Opinion in Neurobiology, 8*, 254-258.

Newcomer, J. S., Craft, S., Hershey, T., Askins, K., & Bardgett, M. E. (1994). Glucocorticoid-induced impairment in declarative memory performance in adult humans. *Journal of Neuroscience, 14*, 2047-2053.

Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Newman, E. A., & Zahs, K. R. (1998). Modulation of neuronal activity by glial cells in the retina. *Journal of Neuroscience, 18*, 4022-4028.

Newsome, W. T. (1997). Deciding about motion: Linking perception to action. *Journal of Comparative Physiology, Series A, 181*, 5-12.

Newton, N. (1996). *Foundations of understanding*. Philadelphia: John Benjamins.

Newtson, D. (1976). Foundations of attribution: The perception of ongoing behavior. In J. Harvey, W. J. Ickes, & R. F. Kidd (Eds.), *New directions in attribution research* (pp. 223-247). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Nisbett, R. E., Kratnz, D. H., Jepson, D., & Kunda, Z. (1983). The use of statistical heuristics in everyday inductive reasoning. *Psychological Review, 90*, 339-363.

Noesselt, T., Hillyard, S. A., Woldorff, M. G., Schoenfeld, A., Hagner, T., *et al.* (2002). Delayed striate cortical activation during spatial attention. *Neuron, 35*, 575-587.

Nolde, S. F., Johnson, M. K., & D'Esposito, M. (1998). Left prefrontal activation during episodic remembering: An event-related fMRI study. *NeuroReport, 9*, 3509-3514.

Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory* (Vol. 4, pp. 1-18). New York: Plenum Press.

Nosofsky, R. M. (1984). Choice, similarity, and the context theory of classification. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 10*, 104-114.

Nosofsky, R. M., Palmeri, T. J., & McKinley, S. C. (1994). Rule-plus-exception model of classification learning. *Psychological Review, 101*, 53-79.

Nyberg, L., Cabeza, R., & Tulving, E. (1996). PET studies of encoding and retrieval: The HERA model. *Psychonomic Bulletin & Review, 3*, 135-148.

Nyberg, L., Habib, R., & McIntosh, A. R. (2000). Reactivation of encoding-related brain activity during memory retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *97*, 11120-11124.

Nystrom, L. E., Braver, T. S., Sabb, F. W., Delgado, M. R., Noll, D. C., & Cohen, J. D. (2000). Working memory for letters, shapes, and locations: fMRI evidence against stimulus-based regional organization of human prefrontal cortex. *NeuroImage, 11*, 424-446.

O'Brien, V. (1958). Contour perception, illusion and reality. *Journal of the Optical Society of America, 48*, 112-119.

Obrig, H., & Villringer, A. (2003). Beyond the visible-imaging the human brain with light. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism, 23*, 1-18.

Ochsner, K. N., Bunge, S. A., Gross, J. J., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Rethinking feelings: An fMRI study of the cognitive regulation of emotion. *Journal of Cognitive Neuroscience, 14*, 1215-1229.

O'Connor, D. H., Fukui, M. M., Pinsk, M. A., & Kastner, S. (2002). Attention modulates responses in the human lateral geniculate nucleus. *Nature Neuroscience, 5*, 1203-1209.

O'Craven, K. M., Downing, P. E., & Kanwisher, N. (1999). fMRI evidence for objects as the units of attentional selection. *Nature, 401*, 584-587.

O'Doherty, J., Kringelbach, M. L., Rolls, E. T., Hornak, J., & Andrews, C. (2001). Abstract reward and punishment representations in the human orbitofrontal cortex. *Nature Neuroscience, 4*, 95-102.

Oh, J. S., Jun, S. A., Knightly, L. M., & Au, T. K. F. (2003). Holding on to childhood language memory. *Cognition, 86*, B53-B54.

Ohman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001a). Emotion drives attention: Detecting the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*, 466-478.

Ohman, A., Lundqvist, D., & Esteves, F. (2001b). The face in the crowd revisited: A threat advantage with schematic stimuli. *Journal of Personality and Social Psychology, 80*, 381-396.

Ohman, A., & Mineka, S. (2001). Fear, phobias, and preparedness: Toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychological Review, 108*, 483-522.

Ohman, A., & Soares, J. J. F. (1998). Emotional conditioning to masked stimuli: Expectancies for aversive outcomes following nonrecognized fear-relevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology: General, 127*, 69-82.

O'Kane, G., Kensinger, E. A., & Corkin, S. (2004). Evidence for semantic learning in profound amnesia. An investigation with patient H. M. *Hippocampus, 14*, 417-425.

Olsson, A., Nearing, K., Zheng, J., & Phelps, E. A. (2004). *Learning by observing: Neural correlates of fear learning through social observation*. Paper presented at 34th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, San Diego, CA.

Oram, M., & Perrett, D. (1994). Response of the anterior superior polysensory (STPa) neurons to «biological motion» stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience, 6*, 99-116.

O'Reilly, R. C., Braver, T. S., & Cohen, J. D. (1999). A biologically based computational model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 375-411). New York: Cambridge University Press.

O'Reilly, R. C., & Munakata, Y. (2000). *Computational explorations in cognitive neuroscience*. Cambridge, MA: The MIT Press.

O'Reilly, R. C., Noelle, D. C., Braver, T. S., & Cohen, J. D. (2002). Prefrontal cortex and dynamic categorization tasks: Representational organization and neuromodulatory control. *Cerebral Cortex, 12*, 246-257.

Osherson, D. N., Perani, D., Cappa, S., Schnur, T., Grassi, F., & Fazio, F. (1998). Distinct brain loci in deductive versus probabilistic reasoning. *Neuropsychologia, 36*, 369-376.

Osherson, D. N., Smith, E. E., Wilkie, O., Lopez, A., & Shafir, E. (1990). Category-based induction. *Psychological Review, 97*, 185-200.

Owen, A. M. (1997). The functional organization of working memory processes within human lateral frontal cortex: The contribution of functional neuroimaging. *European Journal of Neuroscience, 9*, 1329-1339.

Packard, M. G., & Teather, L. A. (1998). Amygdala modulation of multiple memory systems: Hippocampus and caudate-putamen. *Neurobiology of Learning and Memory, 69*, 163-203.

Pagnoni, G., Zink, C. F., Montague, P. R., & Berns, G. S. (2002). Activity in human ventral striatum locked to errors of reward prediction. *Nature Neuroscience, 5*, 97-98.

Paller, K. A., & Wagner, A. D. (2002). Observing the transformation of experience into memory. *Trends in Cognitive Science, 6*, 93-102.

Pallier, C., Dehaene, S., Poline, J.-B., LeBihan, D., Argenti, A.-M., Dupoux, E., *et al.* (2003). Brain imaging of language plasticity in adopted adults: Can a second language replace the first? *Cerebral Cortex, 13*, 155-161.

Palmer, S. E. (1975). The effects of contextual scenes on the identification of objects. *Memory & Cognition, 3*, 519-526.

Palmer, S. E. (1978). Fundamental aspects of cognitive representation. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 259-303). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Palmer, S. E. (1999). *Vision science: Photons to phenomenology*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Papafragou, A., Massey, C., & Gleitman, L. (2006). When English proposes what Greek presupposes: The cross-linguistic encoding of motion events. *Cognition, 98*, B75-B87.

Parsons, L. M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20*, 709-730.

Parsons, L. M., & Fox, P. T. (1998). The neural basis of implicit movement used in recognizing hand shape. *Cognitive Neuropsychology, 15*, 583-615.

Parsons, L. M., & Osherson, D. N. (2001). New evidence for distinct right and left brain systems for deductive versus probabilistic reasoning. *Cerebral Cortex, 11*, 954-965.

Pascual-Leone, A., & Walsh, V. (2001). Fast backprojections from the motion to the primary visual area necessary for visual awareness. *Science, 292*, 510-512.

Pashler, H. E. (1998). *The psychology of attention*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Pashler, H., & Johnston, J. C. (1998). Attentional limitations in dual-task performance. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 155-190). Hove, East Sussex, UK: Psychology Press.

Pasley, B. N., Mayes, L. C., & Schultz, R. T. (2004). Subcortical discrimination of unperceived objects during binocular rivalry. *Neuron, 42*, 163-172.

Passingham, R. E. (1993). *The frontal lobes and voluntary action.* New York: Oxford University Press.

Patalano, A. L., Smith, E. E., Jonides, J., & Koeppe, R. A. (2001). PET evidence for multiple strategies of categorization. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience, 1*, 360-370.

Patel, V. L., Arocha, J. F., & Kaufman, D. R. (1994). Diagnostic reasoning and medical expertise. In D. Medin (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 31, pp. 187-252). San Diego, CA: Academic Press.

Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. J. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature, 362*, 342-345.

Pavlova, M., Staudt, M., Sokolov, A., Birbaumer, N., & Krägeloh-Mann, I. (2003). Perception and production of biological movement in patients with early periventricular brain lesions. *Brain, 126*, 692-701.

Payne, J. W., Bettman, J. R., & Johnson, E. J. (1993). *The adaptive decision maker.* New York: Cambridge University Press.

Pearson, B. Z., Fernandez, S. C., Lewedeg, V., & Oller, D. K. (1997). The relation of input factors to lexical learning by bilingual infants. *Applied Psycholinguistics, 18*, 41-58.

Pearson, B. Z., Fernandez, S. C., & Oller, D. K. (1993). Cross-language synonyms in the lexicons of bilingual infants: One language or two? *Journal of Child Language, 22*, 345-368.

Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2003). Verifying properties from different modalities for concepts produces switching costs. *Psychological Science, 14*, 119-124.

Pegna, A. J., Khateb, A., Lazeyas, F., & Seghier, M. L. (2005). Discriminating emotional faces without primary visual cortices involves the right amygdala. *Nature Neuroscience, 8*, 24-25.

Penev, P. S., & Atick, J. J. (1996). Local feature analysis: A general statistical theory for object representation. *Network: Computation in Neural Systems, 7*, 477-500.

Perani, D., Fazio, F., Borghese, N. A., Tettamanti, M., Ferrari, S., Decety, J., *et al.* (2001). Different brain correlates for watching real and virtual hand actions. *NeuroImage, 14*, 749-758.

Perrett, D. I., Harries, M. H., Bevan, R., Thomas, S., Benson, P. J., *et al.* (1989). Frameworks of analysis for the neural representation of animate objects and action. *Journal of Experimental Biology, 146*, 87-114.

Perrett, D. I., Oram, M. W., Harries, M. H., Bevan, R., Hietanen, J. K., Benson, P. J., *et al.* (1991). Viewercentred and object-centred coding of heads in the macaque temporal cortex. *Experimental Brain Research, 86*, 159-173.

Perrett, D. I., Rolls, E. T., & Caan, W. (1982). Visual neurones responsive to faces in the monkey temporal cortex. *Experimental Brain Research, 47*, 329-342.

Pessoa, L., McKenna, M., Gutierrez, E., & Ungerleider, L. G. (2002). Neural processing of emotional faces requires attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 99*, 11458-11463.

Pessoa, L., & Ungerleider, L. G. (2004). Neuroimaging studies of attention and the processing of emotionladen stimuli. *Progress in Brain Research, 144*, 171-182.

Petersen, S. E., Fox, P. T., Posner, M. I., Mintun, M., & Raichle, M. E. (1988). Positron emission tomography studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature, 331*, 585-589.

Peterson, L. R., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual items. *Journal of Experimental Psychology, 61*, 12-21.

Petrides, M. (1986). The effect of periarcuate lesions in the monkey on the performance of symmetrically and asymmetrically reinforced visual and auditory go, no-go tasks. *Journal of Neuroscience, 6*, 2054-2063.

Petrides, M. E., Alivisatos, B., Evans, A. C., & Meyer, E. (1993a). Dissociation of human mid-dorsolateral from posterior dorsolateral frontal cortex in memory processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 90*, 873-877.

Petrides, M. E., Alivisatos, B., Meyer, E., & Evans, A. C. (1993b). Functional activation of the human frontal cortex during the performance of verbal working memory tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 90*, 878-882.

Petrides, M. E., & Milner, B. (1982). Deficits on subject-ordered tasks after frontal-and temporal-lobe lesions in man. *Neuropsychologia, 20*, 249-269.

Pezdek, K. (2003). Event memory and autobiographical memory for the events of September 11, 2001. *Applied Cognitive Psychology, 17*, 1033-1045.

Phelps, E. A. (2002). Emotions. In M. S. Gazzaniga, R. B. Ivry, & G. R. Mangun (Eds.), *Cognitive neuroscience: The biology of mind* (2nd ed., pp. 537-576). New York: W. W. Norton & Company.

Phelps, E. A., Ling S., & Carrasco, M. (in press). Emotion facilitates perception and potentiates the perceptual benefit of attention. *Psychological Science*.

Phelps, E. A., O'Connor, K. J., Gatenby, J. C., Gores, J. C., Grillon, C., & Davis, M. (2001). Activation of the left amygdala to a cognitive representation of fear. *Nature Neuroscience, 4,* 437- 441.

Piaget, J. (1953). *The origins of intelligence in the child.* London: Routledge.

Piaget, J. (1954/1936). *The construction of reality in the child* (trans. by M. Cook). New York: Basic Books.

Pillemer, D. B. (1984). Flashbulb memories of the assassination attempt on President Reagan. *Cognition, 16*, 63-80.

Pinker, S. (1997). *How the mind works*. New York: Norton.

Pinker, S. (2002). *The blank slate: The modern denial of human nature*. New York: Viking Penguin.

Platt, M. L. (2002). Neural correlates of decisions. *Current Opinion in Neuroscience, 12*, 141-148.

Platt, M. L., & Glimcher, P. W. (1999). Neural correlates of decision variables in parietal cortex. *Nature, 400*, 233-238.

Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patternson, K. E. (1996). Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review, 103*, 56-115.

Pochon, J. B., Levy, R., Poline, J. B., Crozier, S., Lehericy, S., Pillon, B., *et al.* (2001). The role of dorsolateral prefrontal cortex in the preparation of forthcoming actions: An fMRI study. *Cerebral Cortex, 11*, 260-266.

Poldrack, R. A., Clark, J., Paré-Blagoev, E. J., Shohamy, D., Moyano, J. C., Myers, C., *et al.* (2001). Interactive memory systems in the human brain. *Nature, 414*, 546-550.

Poldrack, R. A., Prabakharan, V., Seger, C., & Gabrieli, J. D. E. (1999). Striatal activation during cognitive skill learning. *Neuropsychology, 13*, 564-574.

Polk, T. A., Simen, P., Lewis, R., & Freedman, E. (2002). A computational approach to control in complex cognition. *Cognitive Brain Research, 15*, 71-83.

Pollio, H. R., Barlow, J. M., Fine, H. J., & Pollio, M. R. (1977). *Psychology and the poetics of growth: Figurative language in psychology, psychotherapy and education.* New York: Lawrence Erlbaum Associates.

Polonsky, A., Blake, R., Braun, J., & Heeger, D. J. (2000). Neuronal activity in human primary visual cortex correlates with perception during binocular rivalry. *Nature Neuroscience, 3*, 1153-1159.

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 32*, 3-25.

Posner, M. I. (1990). Hierarchical distributed networks in the neuropsychology of selective attention. In A. Caramazza (Ed.), *Cognitive neuropsychology and neurolinguistics* (pp. 187-210). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review, 78*, 391-408.

Posner, M. I., Choate, L. S., Rafal, R. D., & Vaughn, J. (1985). Inhibition of return: Neural mechanisms and function. *Cognitive Neuropsychology, 2*, 211-228.

Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of performance. In H. Bouma & D. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance X* (pp. 531-556). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Posner, M. I., Cohen, Y., & Rafal, R. D. (1982). Neural systems control of spatial orienting. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, 298*, 187-198.

Posner, M. I., & Keele, S. W. (1968). On the genesis of abstract ideas. *Journal of Experimental Psychology, 77*, 353-363.

Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1974). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition: The Loyola Symposium* (pp. 55-85). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General, 109*, 160-174.

Posner, M. I., Walker, J. A., Friedrich, F. J., & Rafal, R. D. (1984). Effects of parietal injury on covert orienting of visual attention. *Journal of Neuroscience, 4*, 1863-1874.

Posner, M. I., Walker, J. A., Friedrich, F. J., & Rafal, R. D. (1987). How do the parietal lobes direct covert attention? *Neuropsychologia, 25*(1A), 135-145.

Postle, B. R., Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., & D'Esposito, M. (2004). The where and how of attention-based rehearsal in spatial working memory. *Cognitive Brain Research, 20*, 194-205.

Postle, B. R., & D'Esposito, M. (2000). Evaluating models of the topographical organization of working memory function in frontal cortex with event-related fMRI. *Psychobiology, 28*, 132-145.

Potter, M. C., & Levy, E. I. (1969). Recognition memory for a rapid sequence of pictures. *Journal of Experimental Psychology, 81*, 10-15.

Powell, H. W., Koepp, M. I., Symms, M. R., Boulby, P. A., Salek-Haddadi, A., Thompson, P. J., Duncan, J. S., & Richardson, M. P. (2005). Material-specific lateralization of memory encoding in the medial temporal lobe: blocked versus event-related design. *Neuroimage, 27*, 231-239.

Pratto, F., & John, O. P. (1991). Automatic vigilance: The attention grabbing power of negative social information. *Journal of Personality and Social Psychology, 61*, 380-391.

Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology, 9*, 129-154.

Prusiner, S. B. (2002). Historical essay: Discovering the cause of AIDS. *Science, 298*, 1726.

Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Lee, J. R., Katz, L., Frost, S. J., *et al.* (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *Journal of Communication Disorders, 34*, 479-492.

Pulvermüller, F. (1999). Words in the brain's language. *Behavioral and Brain Sciences, 22*, 253-336.

Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin, 80*, 1-24.

Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review, 87*, 16-45.

Pylyshyn, Z. W. (2002). Mental imagery: In search of a theory. *Behavioral & Brain Sciences, 25*, 157-238.

Pylyshyn, Z. (2003). Return of the mental image: Are there pictures in the brain? *Trends in Cognitive Sciences, 7*, 113-118.

Quinn, P. C. (2002). Early categorization: A new synthesis. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 84-101). Oxford, UK: Blackwell Publishers.

Rabbitt, P. (1998). *Methodology of frontal and executive function*. Hove: Psychology Press.

Rachlin, H. (1989). *Judgment, decision, and choice: A cognitive/behavioral synthesis.* New York: Freeman.

Rafal, R. (2001). Bálint's syndrome. In F. Boller & J. Grafman (Eds.), *Handbook of Neuropsychology* (pp. 121-142). Amsterdam: Elsevier Science.

Rafal, R. D., & Posner, M. I. (1987). Deficits in visual spatial attention following thalamic lesions. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 84*, 7349-7353.

Ranganath, C., Yonelinas, A. P., Cohen, M. X., Dy, C. J., Tom, S. M., & D'Esposito, M. (2004). Dissociable correlates of recollection and familiarity within the medial temporal lobes. *Neuropsychologia, 42*, 2-13.

Ratliff, F. (1965). *Mach bands.* San Francisco: Holden-Day Publishers.

Raymond, J. E. (2003). New objects, not new features, trigger the attentional blink. *Psychological Science, 14*, 54-59.

Rayner, K. (1975). Parafoveal identification during a fixation in reading. *Acta Psychologica, 39*, 271-281.

Rayner, K., Foorman, B. R., Perfetti, E., Pesetsky, D., & Seidenberg, M. S. (2001). How psychological science informs the teaching of reading. *Psychological Science in the Public Interest Monograph, 2*, 31-74.

Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Read, D. E. (1981). Solving deductive-reasoning problems after unilateral temporal lobectomy. *Brain and Language, 12*, 116-127.

Redelmeier, D. A., & Tibshirani, R. J. (1997). Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. *New England Journal of Medicine, 336*, 453-458.

Reicher, G. M. (1969). Perceptual recognition as a function of the meaningfulness of stimulus material. *Journal of Experimental Psychology, 81*, 275-281.

Reingold, E. M., & Jolicoeur, P. (1993). Perceptual versus postperceptual mediation of visual context effects: Evidence from the letter-superiority effect. *Perception & Psychophysics, 53*, 166-178.

Rensink, R., O'Regan, K., & Clark, J. J. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science, 8*, 368-373.

Reynolds, J. H., Chelazzi, L., & Desimone, R. (1999). Competitive mechanisms subserve attention in macaque areas V2 and V4. *Journal of Neuroscience, 9*, 1736-1753.

Rhodes, G., Brennan, S., & Carey, S. (1987). Identification and ratings of caricatures: Implications for mental representations of faces. *Cognitive Psychology, 19*, 473-497.

Riehle A., & Requin, J. (1989). Monkey primary motor and premotor cortex: Single-cell activity related to prior information about direction and extent of an intended movement. *Journal of Neurophysiology, 61*, 534-549.

Rips, L. J. (1975). Inductive judgments about natural categories. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior, 14*, 665-681.

Rips, L. J. (1989). Similarity, typicality, and categorization. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Rips, L. J. (1994). *The psychology of proof: Deductive reasoning in human thinking.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Rips, L. J. (1995). Deduction and cognition. In E. E. Smith & D. N. Osherson (Eds.), *Thinking: An invitation to cognitive science* (Vol. 3, 2nd ed.). (pp. 297-344). Cambridge, MA: The MIT Press.

Rizzolati, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research, 3*, 131-141.

Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L., & Gallese, V. (2002). From mirror neurons to imitation: Facts and speculations. In A. N. Meltzoff & W. Prinz (Eds.), *The imitative mind: Development, evolution, and brain bases.* (pp. 247-266). New York: Cambridge University Press.

Robertson, L. C., & Rafal, R. (2000). Disorders of visual attention. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences* (2nd ed., pp. 633-650). Cambridge, MA: The MIT Press.

Robinson, J. (1999). *The psychology of visual illusions.* New York: Dover Publications. Republication of the work published by Hutchinson & Co., London, 1972.

Rochat, P. (1999). *Early social cognition: Understanding others in the first months of life.* Mahawah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Rochat, P., & Hespos, S. J. (1997). Differential rooting response by neonates: Evidence for an early sense of self. *Early Development and Parenting, 6*, 105-112.

Rockland, K. S. (2002). Visual cortical organization at the single axon level: A beginning. *Neuroscience Research, 42*, 155-166.

Roediger, H. L. (1973). Inhibition in recall from cueing with recall targets. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 12*, 644-657.

Roediger, H. L., & McDermott, K. (1993). Implicit memory in normal human subjects. In F. Boller & J. Grafman (Eds.), *Handbook of neuropsychology* (Vol. 8, pp. 63-131). New York: Elsevier.

Roediger, H. L., & McDermott, K. B. (1995). Creating false memories: Remembering words not presented in lists. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 21*, 803-814.

Rogers, R. D., Everitt, B. J., Baldacchino, A., Blackshaw, A. J., Swainson, R., Wynne, K., *et al.* (1999a). Dissociable deficits in the decision-making cognition of chronic amphetamine abusers, opiate abusers, patients with focal damage to prefrontal cortex, and tryptophan-depleted normal volunteers: Evidence for monoaminergic mechanisms. *Neuropsychopharmacology, 20*, 322-339.

Rogers, R. D., Owen, A. M., Middleton, H. C., Pickard, J. D., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (1999b). Choosing between small and likely reward and large and unlikely rewards activates inferior and orbital prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience, 20*, 9029-9038.

Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General, 124*, 207-231.

Rogers, S. J. (1999). An examination of the imitation deficit in autism. In J. Nadel & G. Butterworth (Eds.)., *Imitation in infancy* (pp. 254-283). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Rolls, E. T. (2000). The orbitofrontal cortex and reward. *Cerebral Cortex, 10*, 284-294.

Rolls, E. T., Burton, M. J., & Mora, F. (1980). Neurophysiological analysis of brain stimulation reward in the monkey. *Brain Research, 194*, 339-357.

Romanski, L. M., & Ledoux, J. E. (1993). Information cascade from auditory cortex to the amygdala: Corticocortical and corticoamygdaloid projections of the temporal cortex in rat. *Cerebral Cortex, 3*, 515-532.

Rosch, E. (1973). On the internal structure of perceptual and semantic categories. In T. Moore (Ed.), *Cognitive development and the acquisition of language* (pp. 111-144). San Diego, CA: Academic Press.

Rosch, E. (1975). Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology: General, 104*, 192-233.

Rosch, E., & Mervis, C. B. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology, 7*, 573-605.

Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology, 8*, 382-439.

Rosenbaum, D. A. (1983). The movement precuing technique: Assumptions, applications and extensions. In R. A. Magill (Ed.), *Memory and control in motor behavior* (pp. 231-274). Amsterdam: North-Holland.

Ross, B. H. (1996). Category learning as problem solving. In D. L. Medin (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory, 35*, 165-192.

Ross, M. (1989). Relation of implicit theories to the construction of personal histories. *Psychological Review, 96*, 341-357.

Roth, M., Decety, J., Raybaudi, M., Massarelli, R., Delon, C., Segebarth, C., *et al.* (1996). Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: An fMRI study. *NeuroReport, 7*, 1280-1284.

Rothi, L. J. G., Ochipa, C., & Heilman, K. M. (1991). A cognitive neuropsychological model of limb praxis. *Cognitive Neuropsychology, 8*, 443-458.

Rottenstreich, Y., & Hsee, C. K. (2001). Money, kisses, and electric shocks: On the affective psychology of risk. *Psychological Science, 12*, 185-190.

Rottenstreich, Y., & Shu, S. (2004). The connections between affect and decision making: Nine resulting phenomena. In D. J. Koehler & N. Harvey (Eds.), *Blackwell handbook of judgment and decision* (pp. 444-463). Malden, MA: Blackwell.

Rottenstreich, Y., & Tversky, A. (1997). Unpacking, repacking, and anchoring: Advances in support theory. *Psychological Review, 104*, 406-415.

Rougier, N. P., Noelle, D. C., Braver, T. S., Cohen, J. D., & O'Reilly, R. C. (2005). Prefrontal cortex and flexible cognitive control: Rules without symbols. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 102*, 7338-7343.

Rubinstein, J. S., Meyer, D. E., & Evans, J. E. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 27*, 763-97.

Ruby, P., & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: A PET investigation of agency. *Nature Neuroscience, 4*, 546-550.

Ruby, P., & Decety, J. (2003). What do you believe versus what do you think they believe? A neuroimaging study of perspective taking at the conceptual level. *European Journal of Neuroscience, 17*, 2475-2480.

Ruby, P., Sirigu, A., & Decety, J. (2002). Distinct areas in parietal cortex involved in long-term and shortterm action planning. A PET investigation. *Cortex, 38*, 321-339.

Rueckl, J. G., Cave, K. R., & Kosslyn, S. M. (1989). Why are «what» and «where» processed by separate cortical visual systems? A computational investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience, 1*, 171-186.

Rugg, M. D., & Wilding, E. L. (2000). Retrieval processes and episodic memory. *Trends in Cognitive Science, 4*, 108-115.

Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., & the PDP Research Group (1986). *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition: Vol. 1. Foundations*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1988). Representation in memory. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey, & R. D. Luce (Eds.), *Stevens' handbook of experimental psychology: Vol. 2. Learning and cognition* (pp. 511-587). New York: Wiley.

Rumiati, R. I., & Tessari, A. (2002). Imitation of novel and well-known actions. *Experimental Brain Research, 142*, 425-433.

Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology, 39*, 1161-1178.

Russell, J. A., & Barrett, L. F. (1999). Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called emotion: Dissecting the elephant. *Journal of Personality and Social Psychology, 76*, 805-819.

Rypma, B., & D'Esposito, M. (1999). The roles of prefrontal brain regions in components of working memory: Effects of memory load and individual differences. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 96*, 6558-6563.

Sakurai, S., & Sugimoto, S. (1985). Effect of lesions of prefrontal cortex and dorsomedial thalamus on delayed go/no-go alternation in rats. *Behavioral Brain Research, 17*, 295-301.

Salin, P. A., & Bullier, J. (1995). Corticocortical connections in the visual system: structure and function. *Physiological Review, 75*, 107-154.

Salzman, C. D., Britten, K. H., & Newsome, W. T. (1990). Cortical microstimulation influences perceptual judgments of motion direction. *Nature, 346*, 174-177.

Sanfey, A. G., Hastie, R., Colvin, M. K., & Grafman, J. (2003a). Phineas gauged: Decision making and the human prefrontal cortex. *Neuropsychologica, 41*, 1218-1229.

Sanfey, A. G., Rilling, J. K., Aronson, J. A., Nystrom, L. E., & Cohen, J. D. (2003b). The neural basis of economic decision making in the ultimatum game. *Science, 300*, 1755-1758.

Savage, L. J. (1954). *The foundations of statistics*. New York: Wiley.

Savage-Rumbaugh, E. S., McDonald, K., Sevcik, R. A., Hopkins, W. D., & Rupert, E. (1986). Spontaneous symbol acquisition and communicative use by pygmy chimpanzees (*Pan paniscus*). *Journal of Experimental Psychology: General, 115*, 211-235.

Sawaguchi, T. (2001). The effects of dopamine and its agonists on directional delay period activity of prefrontal neurons in monkeys during an oculomotor delayed-response task. *Neuroscience Research, 41*, 115-128.

Sawaguchi, T., & Goldman-Rakic, P. S. (1994). The role of D1-dopamine receptor in working memory: Local injections of dopamine antagonists into the prefrontal cortex of rhesus monkeys performing an oculomotor delayed-response task. *Journal of Neurophysiology, 71*, 515-528.

Schachter, S., & Singer, J. (1962). Cognitive, social and physiological determinants of emotional state. *Psychological Review, 69*, 379-399.

Schacter, D. L. (1987). Implicit memory: History and current status. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 13*, 501-518.

Schacter, D. L. (2001). *The seven sins of memory: How the mind forgets and remembers*. Boston: Houghton Mifflin.

Schacter, D. L., Dobbins, I. G., & Schnyer, D. M. (2004). Specificity of priming a cognitive neuroscience perspective. *Nat Rev Neurosci, 5*, 853-862.

Schacter, D. L., Harbluk, J. L., & McLachlan, D. R. (1984). Retrieval without recollection: An experimental analysis of source amnesia. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 23*, 593-611.

Schall, J. D. (2001). Neural basis of deciding, choosing and acting. *Nature Neuroscience, 2*, 33-42.

Schank, R. C., & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding: An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Schenk, T., & Zihl, J. (1997). Visual motion perception after brain damage: II. Deficits in form-frommotion perception. *Neuropsychologia, 35*, 1299-1310.

Scherer, K. R. (2000). Psychological models of emotion. In J. C. Borod (Ed.), *The neuropsychology of emotion* (pp. 137-162). New York: Oxford University Press.

Schmidtke, V., & Heuer, H. (1997). Task integration as a factor in secondary-task effects on sequence learning. *Psychological Research, 60*, 53-71.

Schmolck, H., Buffalo, E. A., & Squire, L. R. (2000). Memory for distortions develop over time: Recollections of the O. J. Simpson trial verdict after 15 and 32 months. *Psychological Science, 11*, 39-45.

Schmolesky, M. T., Wang, Y., Hanes, D. P., Thompson, K. G., Leutgeb, S., Schall, J. D., & Leventhal, A. G. (1998). Signal timing across the macaque visual system. *Journal of Neurophysiology, 79*, 3272-3278.

Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review, 84*, 1-66.

Schooler, J. W., Fiore, S. M., & Brandimonte, M. A. (1997). At a loss from words: Verbal overshadowing of perceptual memories. *The Psychology of Learning and Motivation, 37*, 291-340.

Schooler, J. W., Ohlsson, S., & Brooks, K. (1993). Thoughts beyond words: When language overshadows insight. *Journal of Experimental Psychology: General, 122*, 166-183.

Schultz, W. (2002). Getting formal with dopamine and reward. *Neuron, 36*, 241-263.

Schwarz, N., & Ciore, G. L. (1988). How do I feel about it? The informative function of affective states. In K. Fieldler & J. P. Forgas (Eds.), *Affect, cognition and social behavior* (pp. 44-62). Toronto: Hogrefe.

Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurological and Neurosurgical Psychiatry, 20*, 11-21.

Searcy, J. H., & Bartlett, J. C. (1996). Inversion and processing of component and spatial-relational information in faces. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22*, 904-915.

Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences, 3*, 417- 424.

Sebanz, N., Knoblich, G., & Prinz, W. (2003). Representing others' actions: Just like one's own? *Cognition, 88*, B11-B21.

Seger, C., Poldrack, R., Prabhakaran, V., Zhao, M., Glover, G., & Gabrieli, J. (2000). Hemispheric asymmetries and individual differences in visual concept learning as measured by functional MRI. *Neuropsychologia, 38*, 1316-1324.

Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review, 96*, 523-568.

Seidenberg, M. S., & Petitto, L. A. (1987). Communication, symbolic communication, and language. *Journal of Experimental Psychology: General, 116*, 279-287.

Selfridge, O. (1955). Pattern recognition and modern computers. In *Proceedings of the Western Joint Computer Conference,* Los Angeles, CA (pp. 91-93). New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Selfridge, O. (1959). Pandemonium: A paradigm for learning. In *Symposium on the mechanisation of thought processes* (pp. 513-526). London: H. M. Stationery Office.

Sereno, M. I., Dale, A. M., Reppas, J. B., & Kwong, K. K. (1995). Borders of multiple visual areas in humans revealed by functional magnetic resonance imaging. *Science, 268*, 889-893.

Servan-Schreiber, D., Printz, H., & Cohen, J. D. (1990). A network model of catecholamine effects: Gain, signal-to-noise ratio, and behavior. *Science, 249*, 892-895.

Shadlen, M. N., Britten, K. H., Newsome, W. T., & Movshon, J. A. (1996). A computational analysis of the relationship between neuronal and behavioral responses to visual motion. *Journal of Neuroscience, 16*, 1486-1510.

Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B298*, 199-209.

Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure* (2nd ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Shallice, T., Fletcher, P., Frith, C. D., Grasby, P., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1994). Brain regions associated with acquisition and retrieval of verbal episodic memory. *Nature, 368*, 633-635.

Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 22*, 261- 273.

Shanteau, J. (1975). An information-integration analysis of risky decision making. In M. F. Kaplan & S. Schwartz (Eds.), *Human judgment and decision processes* (pp. 109-137). New York: Academic Press.

Shanteau, J., & Nagy, G. F. (1976). Decisions made about other people: A human judgment analysis of dating choice. In J. S. Carroll & J. W. Payne (Eds.), *Cognition and social behavior* (pp. 128-141). New York: Academic Press.

Shanteau, J., & Nagy, G. F. (1979). Probability of acceptance in dating choice. *Journal of Personality and Social Psychology, 37*, 522-533.

Shapiro, K. L., Raymond, J. E., & Arnell, K. M. (1984). Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20*, 357-371.

Shepard, R. N. (1984). Ecological constraints on internal representation: Resonant kinematics of perceiving, imagining, thinking, and dreaming. *Psychological Review, 91*, 417-447.

Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformations.* New York: Cambridge University Press.

Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science, 171*, 701-703.

Shiffrar, M., & Freyd, J. J. (1990). Apparent motion of the human body. *Psychological Science, 1*, 257-264.
Shiffrar, M., & Pinto, J. (2002). The visual analysis of bodily motion. In W. Prinz & B. Hommel (Eds.), *Common mechanisms in perception and action* (pp. 381-399). New York: Oxford University Press.
Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review, 84*, 127-190.
Shillcock, R. (1990). Lexical hypotheses in continuous speech. In G. T. M. Altmann (Ed.), *Cognitive models of speech processing* (pp. 24-49). Cambridge, MA: The MIT Press.
Shimamura, A. P. (1995). Memory and frontal lobe function. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 803-813). Cambridge, MA: The MIT Press.
Shimojo, S., Silverman, G. H., & Nakayama, K. (1988). An occlusion-related mechanism of depth perception based on motion and interocular sequence. *Nature, 333*, 265-268.
Shulman, G. L. (1992). Attentional modulation of size contrast. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A, 45*, 529-546.
Shwarz, N., & Clore, G. L. (1988). How do I feel about it? The informative function of affective states. In K. Fiedler & J. P. Forgas (Eds.), *Affect, cognition and social behavior* (pp. 44-62). Toronto: Hogrefe.
Simmons, W. K., & Barsalou, L. W. (2003). The similarity-in-topography principle: Reconciling theories of conceptual deficits. *Cognitive Neuropsychology, 20*, 451-486.
Simmons, W. K., Martin, A., & Barsalou, L. W. (2005). Pictures of appetizing foods activate gustatory cortices for taste and reward. *Cerebral Cortex, 15*, 1602-1608.
Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *Quarterly Journal of Economics, 69*, 99-118.
Simon, H. A. (1981). *Sciences of the artificial*. Cambridge, MA: The MIT Press.
Simon, J. R. (1990). The effect of an irrelevant directional cue on human information processing. In R. W. Proctor & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-response compatibility: An integrated perspective* (pp. 31-86). Amsterdam: North Holland.
Simons, D. J., & Levin, D. T. (1998). Failure to detect changes to people during a real-world interaction. *Psychonomic Bulletin & Review, 5*, 644-649.
Simons, D. J., & Rensink, R. A. (2005). Change blindness: Past, present, and future. *Trends in Cognitive Sciences, 9*, 16-20.
Singer, Y., Seymour, B., O'Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R. J., & Frith C. D. (2004). Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science, 303*, 1157-1162.
Sirigu, A., Zalla, T., Pillon, B., Grafman, J., Dubois, B., & Agid, Y. (1995). Planning and script analysis following prefrontal lobe lesions. *Annals of the New York Academy of Sciences, 769*, 277-288.
Slackman, E. A., Hudson, J. A., & Fivush, R. (1986). Actions, actors, link and goals: The structure of children's event representations. In K. Nelson (Ed.), *Event knowledge: Structure and function in development* (pp. 47-69). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Slamecka, N. J., & Graf, P. (1978). The generation effect: Delineation of a phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 4*, 592-604.
Stotnick, S. D., & Schacter, D. L. (2004). A sensory signature that distinguishes true from false memories. *Nat Neurosci, 7*, 664-672.
Slovic, P., Finucane, M., Peters, E., & MacGregor, D. G. (2002). Rational actors or rational fools: Implications of the affect heuristic for behavioral economics. *Journal of Socio-Economics, 31*, 329-342.
Slovic, P., Fischhoff, B., & Lichtenstein, S. (1979). Rating the risks. *Environment, 21*, 14-20.
Slovic, P., & Lichtenstein, S. (1983). Preference reversals: A broader perspective. *American Economic Review, 73*, 596-605.
Slovic, P., & Tversky, A. (1974). Who accepts Savage's axiom? *Behavioral Science, 19*, 368-373.

Smith, E. E. (2000). Neural bases of human working memory. *Current Directions in Psychological Science, 9*, 45-49.

Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science, 283*, 1657-1661.

Smith, E. E., Jonides, J., & Koeppe, R. A. (1996). Dissociating verbal and spatial working memory using PET. *Cerebral Cortex, 6*, 11-20.

Smith, E. E., Jonides, J., Koeppe, R. A., Awh, E., Schumacher, E. H., & Minoshima, S. (1995). Spatial vs. object working memory: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience, 7*, 337-356.

Smith, E. E., Marshuetz, C., & Geva, A. (2002). Working memory: Findings from neuroimaging and patient studies. In F. Boller & J. Grafman (Eds.), *Handbook of neuropsychology* (2nd ed., Vol. 7, pp. 55-72). New York: Elsevier.

Smith, E. E., & Medin, D. L. (1981). *Categories and concepts*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Smith, E. E., Patalano, A. L., & Jonides, J. (1998). Alternative strategies for categorization. *Cognition, 65*, 167-196.

Smith, E. E., Shoben, E. J., & Rips, L. J. (1974). Structure and process in semantic memory: A featural model for semantic decisions. *Psychological Review, 81*, 214-241.

Smith, E. E., & Sloman, S. A. (1994). Similarity- versus rule-based categorization. *Memory and Cognition, 22*, 377-386.

Smith, I. M., & Bryson, S. E. (1994). Imitation and action in autism: A critical review. *Psychological Bulletin, 116*, 259-273.

Smith, J. D., & Minda, J. P. (2002). Distinguishing prototype-based and exemplar-based processes in dotpattern category learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 28*, 800-811.

Smith, K., Dickhaut, J., McCabe, K., & Pardo, J. V. (2002). Neuronal substrates for choice under ambiguity, risk, gains, and losses. *Management Science, 48*, 711-718.

Smith, L. B., & Samuelson, L. K. (1997). Perceiving and remembering: Category stability, variability and development. In K. Lamberts & D. R. Shanks (Eds.), *Knowledge, concepts and categories*. (pp. 161-195). Cambridge, MA: The MIT Press.

Smith, M. L., & Milner, B. (1984). Differential effects of frontal-lobe lesions on cognitive estimation and spatial memory. *Neuropsychologica, 22*, 697-705.

Smith, M. L., & Milner, B. (1988). Estimation of frequency of occurrence of abstract designs after frontal or temporal lobectomy. *Neuropsychologica, 26*, 297-306.

Smolensky, P. (1988). On the proper treatment of connectionism. *The Behavioral and Brain Sciences, 11*, 1-74.

Sobotka, S., & Ringo, J. L. (1993). Investigations of long-term recognition and association memory in unit responses from inferotemporal cortex. *Experimental Brain Research, 96*, 28-38.

Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2001). Representing properties locally. *Cognitive Psychology, 43*, 129-169.

Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2004). Perceptual simulation in property verification. *Memory & Cognition, 32*, 244-259.

Solomon, P. R., Stowe, G. T., & Pendlbeury, W. W. (1989). Disrupted eyelid conditioning in a patient with damage to cerebellar afferents. *Behavioral Neuroscience, 103*, 898-902.

Somers, D. C., Dale, A. M., Seiffert, A. E., & Tootell, R. B. H. (1999). Functional MRI reveals spatially specific attentional modulation in human primary visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 96*, 1663-1668.

Sommers, F. (1963). Types and ontology. *Philosophical Review, 72*, 327-363.

Sommerville, J. A., & Woodward, A. L. (2005). Pulling out the structure of intentional action: The relation between action processing and action production in infancy. *Cognition, 95*, 1-30.

Sommerville, J. A., Woodward, A. L., & Needham, A. (2005). Action experience alters 3-month-old infants' perception of others' actions. *Cognition, 96*, B1-B11.

Spector, A., & Biederman, I. (1976). Mental set and mental shift revisited. *American Journal of Psychology, 89*, 669-679.
Spelke, E. S. (1998). Nativism, empiricism, and the origins of knowledge. *Infant Behavior and Development, 21*, 181-200.
Spelke, E., Hirst, W., & Neisser, U. (1976). Skills of divided attention. *Cognition, 4*, 215-230.
Spellman, B. A., & Holyoak, K. J. (1992). If Saddam is Hitler then who is George Bush? Analogical mapping between systems of social roles. *Journal of Personality and Social Psychology, 62*, 913-933.
Spellman, B. A., & Holyoak, K. J. (1996). Pragmatics in analogical mapping. *Cognitive Psychology, 31*, 307-346.
Spence, C., Nicholls, M. E. R., & Driver, J. (2000). The cost of expecting events in the wrong sensory modality. *Perception & Psychophysics, 63*, 330-336.
Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs, 74*, 1-29.
Sperling, G., & Weichselgartner, E. (1995). Episodic theory of the dynamics of spatial attention. *Psychological Review, 102*, 503-532.
Sperry, R. W. (1952). Neurology and the mind-body problem. *American Scientist, 40*, 291- 312.
Spitzer, H., Desimone, R., & Moran, J. (1988). Increased attention enhances both behavioral and neuronal performance. *Science, 240*, 338-340.
Spivey, M., Tyler, M., Richardson, D., & Young, E. (2000). Eye movements during comprehension of spoken scene descriptions. *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 487-492). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review, 99*, 195-231.
Squire, L. R., Stark, C. E., & Clark, R. E. (2004). The medial temporal lobe. *Annual Review of Neuroscience, 27*, 279-306.
Stanfield, R. A., & Zwaan, R. A. (2001). The effect of implied orientation derived from verbal context on picture recognition. *Psychological Science, 12*, 153-156.
Stellar, J. R., & Stellar, E. (1984). *The neurobiology of motivation and reward*. New York: Springer-Verlag.
Stephan, K. M., Fink, G. R., Passingham, R. E., Silbersweig, D., Ceballos-Baumann, O., Frith, C. D., *et al.* (1995). Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *Journal of Neurophysiology, 73*, 373-386.
Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science, 153*, 652-654.
Sternberg, S. (1967). Retrieval of contextual information from memory. *Psychonomic Science, 8*, 55-56.
Sternberg, S. (1969a). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. In W. G. Koster (Ed.), *Attention and performance II* (pp. 276-315). Amsterdam: North-Holland.
Sternberg, S. (1969b). Memory-scanning: Mental processes revealed by reaction-time experiments. *American Scientist, 57*, 421-457.
Sternberg, S. (2003). Process decomposition from double dissociation of subprocesses. *Cortex, 39*, 180-182.
Stevens, J. A. (2005). Interference effects demonstrate distinct roles for visual and motor imagery during the mental representation of human action. *Cognition, 95*, 329-350.
Stevens, J. A., Fonlupt, P., Shiffrar, M. A., & Decety, J. (2000). New aspects of motion perception: Selective neural encoding of apparent human movements. *NeuroReport, 11*, 109-115.
Stone, V. E., Cosmides, L., Tooby, J., Kroll, N., & Knight, R. T. (2002). Selective impairment of reasoning about social exchange in a patient with bilateral limbic system damage. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 99*, 11531-11536.
Strayer, D. L., & Johnston, W. A. (2001). Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychological Science, 12*, 462-466.

Strayer, D. L., Drews, F. A., & Johnston, W. A. (2003). Cell-phone induced failures of visual attention during simulated driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 9*, 23-32.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, 18*, 643-662.

Strotz, R. H. (1956). Myopia and inconsistency in dynamic utility maximization. *Review of Economic Studies, 23*, 165-180.

Sturmer, B., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2000). Correspondence effects with manual gestures and postures: A study of imitation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 26*, 1746-1759.

Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes.* New York: Raven Press.

Stuss, D. T., & Knight, R. T. (Eds.). (2002). *Principles of frontal lobe function.* New York: Oxford University Press.

Sugita, Y. (1999). Grouping of image fragments in primary visual cortex. *Nature, 401*, 269-272.

Sulin, R. A., & Dooling, D. J. (1974). Intrusion of a thematic idea in the retention of prose. *Journal of Experimental Psychology, 103*, 255-262.

Suzuki, W. A., & Amaral, D. G. (1994). Perirhinal and parahippocampal cortices of the macaque monkey: Cortical afferents. *Journal of Comparative Neurology, 350*, 497-533.

Swinney, D. A. (1979). Lexical access during sentence comprehension: (Re)consideration of context effects. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 18*, 645-659.

Sylvester, C. Y., Wager, T. D., Lacey, S. C., Hernandez, L., Nichols, T. E., Smith, E. E., *et al.* (2003). Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia, 41*, 357-370.

Tabossi, P. (1988). Effects of context on the immediate interpretation of unambiguous nouns. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 14*, 153-162.

Tai, Y. F., Scherfler, C., Brooks, D. J., Sawamoto, N., & Castiello, U. (2004). The human premotor cortex is «mirror» only for biological actions. *Current Biology, 14*, 117-120.

Talaricho, J. M., & Rubin, D. C. (2003). Confidence, not consistency, characterizes flashbulb memories. *Psychological Science, 14*, 455-461.

Tanaka, J. W., & Curran, T. (2001). A neural basis for expert object recognition. *Psychological Science, 12*, 43-47.

Tanaka, J. W., & Farah, M. J. (1993). Parts and wholes in face recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 46*, 225-245.

Tanaka, J. W., & Gauthier, I. (1997). Expertise in object and face recognition. In R. L. Goldstone, P. G. Schyns, & D. L. Medin (Eds.), *Psychology of learning and motivation series, special volume: Perceptual mechanisms of learning* (Vol. 36, pp. 83-125). San Diego, CA: Academic Press.

Tanaka, J. W., & Sengco, J. A. (1997). Features and their configuration in face recognition. *Memory and Cognition, 25*, 583-592.

Tanaka, K. (1997). Inferotemporal cortex and object recognition. In J. W. Donahoe & V. P. Dorsel (Eds.), *Neural-network models of cognition: Biobehavioral foundations* (Vol. 121, pp. 160-188). Amsterdam: North-Holland/Elsevier Science Publishers.

Tanaka, K., Saito, H., Fukada, Y., & Moriya, M. (1991). Coding visual images of objects in the inferotemporal cortex of the macaque monkey. *Journal of Neurophysiology, 66*, 170-189.

Tanenhaus, M. K., Leiman, J. M., & Seidenberg, M. S. (1979). Evidence for multiple stages in the processing of ambiguous words in syntactic contexts. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 18*, 427-440.

Tanji, J. (1994). The supplementary motor area in the cerebral cortex. *Neuroscience Research, 19*, 251-268.

Terrace, H. S. (1979). *Nim: A chimpanzee who learned sign language.* New York: Knopf.

Thaler, R. H., & Shefrin, H. M. 1981. An economic theory of self-control. *Journal of Political Economy, 89*, 392-406.

Thaler, R. H., Tversky, A., Kahneman, D., & Schwartz, A. (1997). The effect of myopia and loss aversion on risk taking: An experimental test. *Quarterly Journal of Economics, 112*, 647-661.

Thioux, M., Pillon, A., Samson, D., de Partz, M. P., & Noël, M. P. (1998). The isolation of numerals at the semantic level. *Neurocase, 4*, 371-389.

Thompson, P. (1980). Margaret Thatcher: A new illusion. *Perception, 9*, 483-484.

Thompson, R., Emmorey, K. & Gollan, T. H. (2005). «Tip of the fingers» experiences by Deaf signers: Insights into the organization of a sign-based lexicon, *Psychological Science,* 16, 856-860.

Thompson, R. F., & Kim, J. J. (1996). Memory systems in the brain and localization of a memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 93*, 13438-13444.

Thompson, W. L., & Kosslyn, S. M. (2000). Neural systems activated during visual mental imagery: A review and meta-analysis. In A. W. Toga & J. C. Mazziotta (Eds.), *Brain mapping: The systems* (pp. 535-560). San Diego, CA: Academic Press.

Tipper, S. P., & Behrmann, M. (1996). Object-centred not scene-based visual neglect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22*, 1261-1278.

Tomarken, A. J., Davidson, R. J., Wheeler, R. E., & Doss, R. C. (1992). Individual differences in anterior brain asymmetry and fundamental dimensions of emotion. *Journal of Personality and Social Psychology, 62*, 676-682.

Tomasello, M. (1999). *The cultural origins of human cognition.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Tomb, I., Hauser, M., Deldin, P., & Caramazza, A. (2002). Do somatic markers mediate decisions on the gambling task? *Nature Neuroscience, 5*, 1103-1104.

Tomita, H., Ohbayashi, M., Nakahara, K., Hasegawa, I., & Miyashita, Y. (1999). Top-down signal from prefrontal cortex in executive control of memory retrieval. *Nature, 401*, 699-703.

Tong, F., & Engel, S. A. (2001). Interocular rivalry revealed in the human cortical blind-spot representation. *Nature, 411*, 195-199.

Tong, F., Nakayama, K., Moscovitch, M., Weinrib, O., & Kanwisher, N. (2000). Response properties of the human fusiform face area. *Cognitive Neuropsychology, 17*, 257-279.

Tong, F., Nakayama, K., Vaughan, J. T., & Kanwisher, N. (1998). Binocular rivalry and visual awareness in human extrastriate cortex. *Neuron, 21*, 753-759.

Tootell, R. B. H., Silverman, M. S., Switkes, E., & DeValois, R. L. (1982). Deoxyglucose analysis of retinotopic organization in primates. *Science, 218*, 902-904.

Tourangeau, R., Rips, L. J., & Rasinski, K. R. (2000). *The psychology of survey response.* New York: Cambridge University Press.

Townsend, J. T. (1990). Serial vs parallel processing: Sometimes they look like tweedledum and tweedledee but they can (and should) be distinguished. *Psychological Science, 1*, 46-54.

Townsend, J. T., & Ashby, F. G. (1983). *The stochastic modeling of elementary psychological processes*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Travis, L. L. (1997). Goal-based organization of event memory in toddlers. In P. W. van den Broek, P. J. Bauer, & T. Bovig (Eds.), *Developmental spans in event comprehension and representation: Bridging fictional and actual events* (pp. 111-138). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Treisman, A. M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 12*, 242-248.

Treisman, A. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological Review, 76*, 282-299.

Treisman, A. (1990). Variations on the theme of feature integration: Reply to Navon. *Psychological Review, 97*, 460-463.

Treisman, A. (1996). The binding problem. *Current Opinion in Neurobiology, 6*, 171-178.

Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology, 12*, 97-136.

Treisman, A., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 16*, 459-478.

Treisman, A., & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology, 14*, 107-141.

Treisman, A., & Souther, J. (1985). Search asymmetry: A diagnostic for preattentive processing of separable features. *Journal of Experimental Psychology: General, 114*, 285-310.

Treue, S., & Martinez Trujillo, J. C. (1999). Feature-based attention influences motion processing gain in macaque visual cortex. *Nature, 399*, 575-579.

Treue, S., & Maunsell, J. H. (1996). Attentional modulation of visual motion processing in cortical areas MT and MST. *Nature, 382*, 539-541.

Trueswell, J. C., & Tanenhaus, M. K. (1994). Toward a lexicalist framework for constraint-based syntactic ambiguity resolution. In C. Clifton, L. Frazier, & K. Rayner (Eds.), *Perspectives in sentence processing* (pp. 155-179). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 382-403). New York: Academic Press.

Tulving, E. (1983). *Elements of episodic memory*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychologist, 26*, 1-12.

Tulving, E., & Markowitsch, H. J. (1998). Episodic and declarative memory: Role of the hippocampus. *Hippocampus, 8*, 198-204.

Tulving, E., & Schacter, D. L. (1990). Priming and human memory systems. *Science, 247*, 301-306.

Tulving, E., & Thompson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review, 80*, 359-380.

Tversky, A. (1967). Utility theory and additivity analysis of risky choices. *Journal of Experimental Psychology, 75*, 27-36.

Tversky, A. (1969). Intransitivity of preferences. *Psychological Review, 76*, 31-48.

Tversky, A. (1972). Elimination by aspects: A theory of choice. *Psychological Review, 79*, 281-299.

Tversky, A., & Fox, C. R. (1995). Weighing risk and uncertainty. *Psychological Review, 102*, 269-283.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science, 185*, 1124-1131.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science, 211*, 453-458.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1984). Extensional versus intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment. *Psychological Review, 91*, 293-315.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty, 5*, 297-323.

Tversky, A., & Koehler, D. J. (1994). Support theory: A nonextensional representation of subjective probability. *Psychological Review, 101*, 547-567.

Tversky, B., & Hemenway, K. (1985). Objects, parts, and categories. *Journal of Experimental Psychology: General, 113*, 169-193.

Tweney, R. D., Doherty, M. E., & Mynatt, C. R. (1981). *On scientific thinking*. New York: Columbia University Press.

Tyler, L. K., & Moss, H. E. (1997). Imageability and category-specificity. *Cognitive Neuropsychology, 14*, 293-318.

Tyler, L. K., & Moss, H. E. (2001). Towards a distributed account of conceptual knowledge. *Trends in Cognitive Sciences, 5*, 244-252.

Tzschentke, T. M., & Schmidt, W. J. (2000). Functional relationship among medial prefrontal cortex, nucleus accumbens, and ventral tegmental area in locomotion and reward. *Critical Reviews in Neurobiology, 14*, 131-142.

Ullian, E. M., Sapperstein, S. K., Christopherson, K. S., & Barres, B. A. (2001). Control of synapse number by glia. *Science, 291*, 657-661.

Ulmità, M. A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., *et al.* (2001). I know what you are doing: A neurophysiological study. *Neuron, 31*, 155-165.

Uncapher, M. R., & Rugg, M. D. (2005). Effects of divided attention on fMRI correlates of memory encoding. *J Cogn Neurosci, 17*, 1923-1935.

Underwood, B. J. (1957). Interference and forgetting. *Psychological Review, 64*, 49-60.

Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1994). What and where in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology, 4*, 157-165.

Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale, & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-586). Cambridge, MA: The MIT Press.

Usher, M., & Cohen, J. D. (1999). Short term memory and selection processes in a frontal-lobe model. In D. Heinke, G. W. Humphries, & A. Olsen (Eds.), *Connectionist models in cognitive neuroscience*. Brighton, UK: Psychology Press.

Vaidya, C. J., Gabrieli, J. D. E., Keane, M. M., Monti, L. A., Gutierrez-Rivas, H., & Zarella, M. M. (1997). Evidence for multiple mechanisms of conceptual priming on implicit memory tests. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 23*, 1324-1343.

Vaina, L. M., LeMay, M., Bienefang, D., Choi, A. Y., & Nakayama, K. (1990). Intact biological motion and structure from motion perception in a patient with impaired motion measurements. *Visual Neuroscience, 6*, 353-369.

Vakil, E., Galek, S., Soroker, N., Ring, H., & Gross, Y. (1991). Differential effect of right and left hemispheric lesions on two memory tasks: Free recall and frequency judgment. *Neuropsychologica, 29*, 981-992.

Vallar, G., & Baddeley, A. D. (1984). Fractionation of working memory: Neuropsychological evidence for a phonological short-term store. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 23*, 151-161.

Vallar, G., & Papagno, C. (1986). Phonological short-term store and the nature of the recency effect: Evidence from neuropsychology. *Brain and Cognition, 5*, 428-432.

Vallar, G., & Papagno, C. (1995). Neuropsychological impairments of short-term memory. In A. D. Baddeley & B. A. Wilson (Eds.), *Handbook of memory disorders* (Vol. XVI, pp. 135-165). Oxford: Wiley.

Van Orden, G. C. (1987). A ROWS is a ROSE: Spelling, sound, and reading. *Memory and Cognition, 15*, 181-198.

Vandenberghe, R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2001). Functional specificity of superior parietal mediation of spatial shifting. *NeuroImage, 14*, 661- 673.

Veltman, D. J., Rombouts, S. A., & Dolan, R. J. (2003). Maintenance versus manipulation in verbal working memory revisited: An fMRI study. *NeuroImage, 18*, 247-256.

Vingerhoets, G., de Lange, F. P., Vandemaele, P., Deblaere, K., & Achten, E. (2002). Motor imagery in mental rotation: An fMRI study. *NeuroImage, 17*, 1623-1633.

Vitevitch, M. S. (2003). Change deafness: The inability to detect changes between two voices. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 29*, 333-342.

Viviani, P. (2002). Motor competence in the perception of dynamic events: A tutorial. In W. Prinz & B. Hommel (Eds.), *Common mechanisms in perception and action, attention and performance XIX* (pp. 406-442). New York: Oxford University Press.

Vogels, R., Biederman, I., Bar, M., & Lorincz, A. (2001). Inferior temporal neurons show greater sensitivity to nonaccidental than to metric shape differences. *Journal of Cognitive Neuroscience, 13*, 444-453.

Vogels, T. P., Rajan, K., & Abbott, L. E. (2005). Neural network dynamics. *Annual Review of Neuroscience, 28*, 357-376.

Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2001). Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: An event-related fMRI study. *Neuron, 30*, 829-841.

Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2003). Distinct spatial frequency sensitivities for processing faces and emotional expressions. *Nature Neuroscience, 6*, 624-631.
Vuilleumier, P., Richardson, M. P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolam, R. J. (2004). Distant influences of amygdala lesion on visual cortical activation during emotional face processing. *Nature Neuroscience, 7*, 1271-1278.
Vuilleumier, P., & Schwartz, S. (2001). Beware and be aware: Capture of spatial attention by fear-related stimuli in neglect. *NeuroReport, 12*, 1119-1122.
Wade, N. J. (1998). *A natural history of vision.* Cambridge, MA: The MIT Press.
Wager, T. D., Jonides, J., & Smith, E. E. (in press). Individual differences in multiple types of shifting attention. *Memory & Cognition.*
Wager. T. D., Reading, S., & Jonides, J. (2004). Neuroimaging studies of shifting attention: A meta-analysis. *Neuroimage, 22*, 1679-1693.
Wagner, A. D. (2002). Cognitive control and episodic memory: Contributions from prefrontal cortex. In L. R. Squire & D. L. Schacter (Eds.), *Neuropsychology of memory* (3rd ed., pp. 174-192). New York: Guilford Press.
Wagner, A. D., Bunge, S. A., & Badre, D. (2005). Cognitive control, semantic memory, and priming: Contributions from prefrontal cortex. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences III* (pp. 709-725). Cambridge, MA: MIT Press.
Wagner, A. D., & Koutstaal, W. (2002). Priming. In *Encyclopedia of the human brain* (Vol. 4, pp. 27-46). New York: Elsevier Science.
Wagner, A. D., Koutstaal, W., Maril, A., Schacter, D. L., & Buckner, R. L. (2000). Process-specific repetition priming in left inferior prefrontal cortex. *Cerebral Cortex, 10*, 1176-1184.
Wagner, A. D., Paré-Blagoev, E. J., Clark, J., & Poldrack, R. A. (2001). Recovering meaning: Left prefrontal cortex guides controlled semantic retrieval. *Neuron, 31*, 329-338.
Wagner, A. D., Schacter, D. L., Rotte, M., Koutstaal, W., Maril, A., Dale, A. M., *et al.* (1998). Building memories: Remembering and forgetting of verbal experiences as predicted by brain activity. *Science, 281*, 1188-1191.
Walsh, V., Ashbridge, E., & Cowey, A. (1998). Cortical plasticity in perceptual learning demonstrated by transcranial magnetic stimulation. *Neuropsychologia, 36*, 363-367.
Walsh, V., & Pascual-Leone, A. (2003). *Transcranial magnetic stimulation: A neurochronometrics of mind.* Cambridge, MA: The MIT Press.
Warren, R. M. (1970). Perceptual restoration of missing speech sounds. *Science, 167*, 392-393.
Warrington, E. K., & McCarthy, R. A. (1983). Category specific access dysphasia. *Brain, 106*, 859-878.
Warrington, E. K., & McCarthy, R. A. (1987). Categories of knowledge: Further fractionations and an attempted integration. *Brain, 110*, 1273-1296.
Warrington, E. K., & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain, 107*, 829-854.
Warrington, E. K., & Weiskrantz, L. (1968). A new method of testing long-term retention with special reference to amnesic patients. *Nature, 217*, 972-974.
Warrington, E. K., & Weiskrantz, L. (1974). The effect of prior learning on subsequent retention in amnesic patients. *Neuropsychologia, 12*, 419-428.
Wason, P. C. (1966). Reasoning. In B. Foss (Ed.), *New horizons in psychology* (pp. 135-151). Harmondsworth, UK: Penguin.
Webster, M. A., & MacLin, O. H. (1999). Figural aftereffects in the perception of faces. *Psychonomic Bulletin and Review, 6*, 647-653.
Webster, M. A., Kaping, D., Mizokami, Y., & Duhamel, P. (2004). Adaptation to natural face categories. *Nature, 428*, 557-561.
Weinberger, M. R. (1995). Retuning the brain by fear conditioning. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 1071-1090). Cambridge, MA: The MIT Press.
Weisberg, R. W. (1993). *Creativity: Beyond the myth of genius.* New York: W. H. Freeman.

Weiss, Y., & Adelson, E. H. (1998). Slow and smooth: A Bayesian theory for the combination of local motion signals in human vision (CBCL Paper 158/AI Memo 1624). Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.

Weisstein, N., & Harris, C. S. (1974). Visual detection of line segments: An object-superiority effect. *Science, 186*, 752-755.

Werker, J. F., & Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development, 7*, 49-63.

Wertheimer, M. (1945). *Productive thinking*. New York: Harper.

Whalen, P. J. (1998). Fear, vigilance, and ambiguity: Initial neuroimaging studies of the human amygdala. *Current Directions in Psychological Science, 7*, 177-188.

Whalen, P. J., Rauch, S. L., Etcoff, N. L., McInerney, S. C., Lee, M. B., & Jenike, M. A. (1998). Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *Journal of Neuroscience, 18*, 411-418.

Wharton, C. M., & Grafman, J. (1998). Deductive reasoning and the brain. *Trends in Neuroscience, 2*, 54-59.

Wharton, C. M., Grafman, J., Flitman, S. S., Hansen, E. K., Brauner, J., Marks, A., *et al.* (2000). Toward neuroanatomical models of analogy: A positron emission tomography study of analogical mapping. *Cognitive Psychology, 40*, 173-197.

Wheeler, D. D. (1970). Processes in word recognition. *Cognitive Psychology, 1*, 59-85.

Wheeler, M. E., Petersen, S. E., & Buckner, R. L. (2000). Memory's echo: Vivid remembering reactivates sensory-specific cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 97*, 11125-11129.

Whorf, B. (1956). *Language, thought & reality*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Wickens, D. D., Dalezman, R. E., & Eggemeier, F. T. (1976). Multiple encoding of word attributes in memory. *Memory and Cognition, 4*, 307-310.

Wiesel, T. N., & Hubel, D. H. (1963). Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. *Journal of Neurophysiology, 26*, 1003-1017.

Wiesel, T. N., & Hubel, D. H. (1965). Comparison of the effects of unilateral and bilateral eye closure on cortical unit responses in kittens. *Journal of Neurophysiology, 28*, 1029-1040.

Wiggs, C. L., & Martin, A. (1998). Properties and mechanisms of perceptual priming. *Current Opinion in Neurobiology, 8*, 227-233.

Wikman, A. S., Nieminen, T., & Summala, H. (1998). Driving experience and time-sharing during in-car tasks on roads of different widths. *Ergonomics, 41*, 358-372.

Williams, A., & Weisstein, N. (1978). Line segments are perceived better in a coherent context than alone: An object-line effect in visual perception. *Memory and Cognition, 6*, 85-90.

Williams, J. M. G., Matthews, A., & Macleod, C. (1996). The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological Bulletin, 120*, 3-24.

Williams, M. A., Morris, A. P., McGlone, F., Abbott, D. F., & Mattingly, J. B. (2004). Amygdala responses to fearful and happy facial expressions under conditions of binocular suppression. *Journal of Neuroscience, 24*, 2898-2904.

Wilson, F. A. W., Scalaidhe, S. P. O., & Goldman-Rakic, P. S. (1993). Dissociation of object and spatial processing domains in primate prefrontal cortex. *Science, 260*, 1955-1957.

Wilson, M. A., & McNaughton, B. L. (1994). Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science, 265*, 676-679.

Wilson, W. R. (1979). Feeling more than we can know: Exposure effects without learning. *Journal of Personality and Social Psychology, 37*, 811-821.

Wise, R. A., & Rompre, P. P. (1989). Brain dopamine and reward. *Annual Review of Psychology, 40*, 191-225.

Witelson, S. F., Kigar, D. L., & Harvey, T. (1999). The exceptional brain of Albert Einstein. *Lancet, 353*, 2149-2153.

Witkin, H. A., Oltman, P. K., Raskin, E., & Karp, S. A. (1971). *A manual for the Embedded Figures Test.* Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.

Wixted, J. T., & Ebbesen, E. B. (1991). On the form of forgetting. *Psychological Science, 2*, 409-415.

Wixted, J. T., & Squire, L. R. (2004). Recall and recognition are equally impaired in patients with selective hippocampal damage. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 4*, 58-66.

Wojciulik, E., & Kanwisher, N. (1999). The generality of parietal involvement in visual attention. *Neuron, 23*, 747-764.

Wolfe, J. M. (1999). Inattentional amnesia. In V. Coltheart (Ed.), *Fleeting memories: Cognition of brief visual stimuli* (pp. 71-94). Cambridge, MA: The MIT Press.

Wolfe, J. M. (2003). Moving towards solutions to some enduring controversies in visual search. *Trends in Cognitive Science, 7*, 70-76.

Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: An alternative to the modified feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 15*, 419-433.

Wolfe, J. M., Yu, K. P., Stewart, M. I., Shorter, A. D., Friedman-Hill, S. R., & Cave, K. R. (1990). Limitations on the parallel guidance of visual search: Color x color and orientation x orientation conjunctions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 16*, 879-892.

Wolff, P., Medin, D. L., & Pankratz, C. (1999). Evolution and devolution of folkbiological knowledge. *Cognition, 73*, 177-204.

Wood, N., & Cowan, N. (1995). The cocktail party phenomenon revisited: How frequent are attention shifts to one's name in an irrelevant auditory channel. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 21*, 255-260.

Woodward, A. L. (1998). Infants selectively encode the goal object of an actor's reach. *Cognition, 69*, 1-34.

Woodward, A. L. (2003). Infants' developing understanding of the link between looker and object. *Developmental Science, 6*, 297-311.

Woodward, A. L., & Guajardo, J. J. (2002). Infants' understanding of the point gesture as an objectdirected action. *Cognitive Development, 83*, 1-24.

Woodworth, R. S., & Sells, S. B. (1935). An atmosphere effect in formal syllogistic reasoning. *Journal of Experimental Psychology, 18*, 451-460.

Wright, D. B. (1993). Recall of the Hillsborough disaster over time: Systematic biases of «flashbulb» memories. *Applied Cognitive Psychology, 7*, 129-138.

Wu, L., & Barsalou, L. W. (2004). Perceptual simulation in property generation. Manuscript under review.

Wundt, W. M. (1907). *Outlines of psychology*. Leipzig, Germany: Wilhelm Engelmann.

Yeh, W., & Barsalou, L. W. (2004). The situated character of concepts. Manuscript under review.

Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology, 81*, 141-145.

Yonelinas, A. P. (2002). The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language, 46*, 441-517.

Yonelinas, A. P., & Jacoby, L. L. (1994). Dissociations of processes in recognition memory: Effects of interference and of response speed. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 48*, 516-534.

Yonelinas, A. P., Kroll, N. E., Quamme, J. R., Lazzara, M. M., Sauve, M. J., Widaman, K. F., *et al.* (2002). Effects of extensive temporal lobe damage or mild hypoxia on recollection and familiarity. *Nature Neuroscience, 5*, 1236-1241.

Yonelinas, A. P., Otten, L. J., Shaw, K. N., & Rugg, M. D. (2005). Separating the brain regions involved in recollection and familiarity in recognition memory. *Journal of Neuroscience, 25,* 3002-3008.

Young, A. W., Hellawell, D., & Hay, D. C. (1987). Configural information in face perception. *Perception, 16*, 747-759.

Young, M. P., & Yamane, S. (1992). Sparse population coding of faces in the inferotemporal cortex. *Science, 256*, 1327-1331.

Yue, G., & Cole, K. J. (1992). Strength increases from the motor program: Comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of Neurophysiology, 67*, 1114-1123.

Zacks, J., Braver, T. S., Sheridan, M. A., Donaldson, D. I., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., *et al.* (2001). Human brain activity time-locked to perceptual event boundaries. *Nature Neuroscience, 4*, 651-655.

Zacks, J. M., & Tversky, B. (2001). Event structure in perception and conception. *Psychological Bulletin, 127*, 3-21.

Zacks, J. M., Tversky B., & Iyer, G. (2001). Perceiving, remembering, and communicating structure in events. *Journal of Experimental Psychology General, 130*, 29-58.

Zajonc, R. B. (1980). Feeling and thinking: Preferences need no inferences. *American Psychologist, 35*, 151-175.

Zajonc, R. B. (1984). On the primacy of affect. *American Psychologist, 39*, 117-123.

Zeki, S. (1990). A century of cerebral achromatopsia. *Brain, 113*(Pt. 6), 1721-1777.

Zeki, S. (1993). *A vision of the brain.* Cambridge, MA: Blackwell.

Zhang, H., Zhang, J., & Kornblum, S. (1999). A parallel distributed processing model of stimulus-stimulus and stimulus-response compatibility. *Cognitive Psychology, 38*, 386-432.

Zhao, L., & Chubb, C. (2001). The size-tuning of the face-distortion after-effect. *Vision Research, 41*, 2979-2994.

Zihl, J., von Cramon, D., & Mai, N. (1983). Selective disturbance of movement vision after bilateral brain damage. *Brain, 106*(Pt. 2), 313-340.

Zipf, G. K. (1935). *The psycho-biology of language.* Boston: Houghton Mifflin.

Zola-Morgan, S., Squire, L. R., Amaral, D. G., & Suzuki, W. A. (1989). Lesions of perirhinal and parahippocampal cortex that spare the amygdala and hippocampal formation produce severe memory impairment. *Journal of Neuroscience, 9*, 4355-4370.

Zola-Morgan, S., Squire, L. R., Avarez-Royo, P., & Clower, R. P. (1991). Independence of memory functions and emotional behavior: Separate contributions of the hippocampal formation and the amygdala. *Hippocampus, 1*, 207-220.

Zwaan, R. A., Stanfield, R. A., & Yaxley, R. H. (2002). Language comprehenders mentally represent the shapes of objects, *Psychological Science, 13*, 168-171.

# Índice analítico



## A

## B



## C

D



E

# F

## M

# N

# O



# P

## S

## T

## U



## V

# Inserto a color A

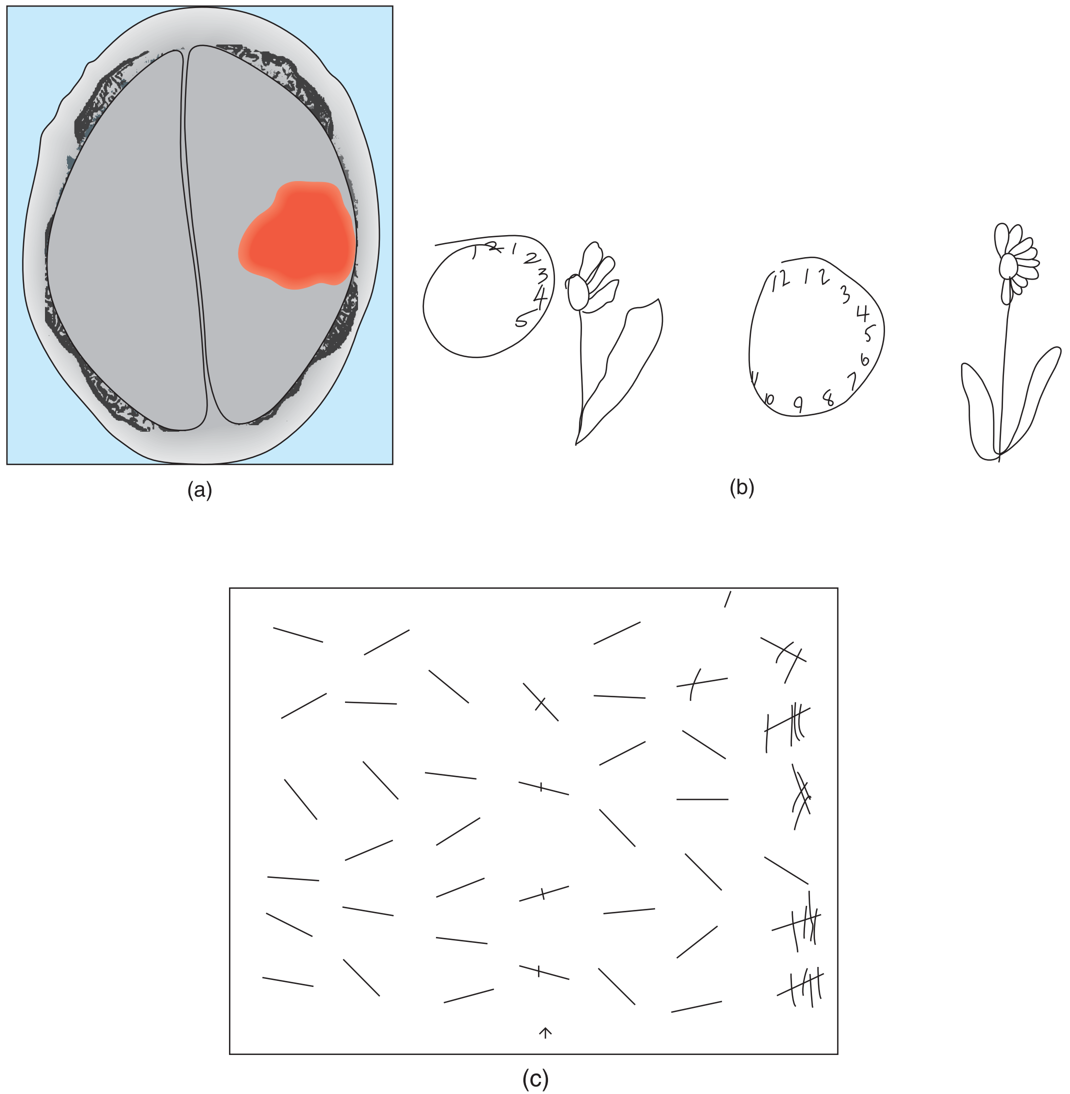



**FIGURA 3-6** Negligencia hemiespacial: causa y consecuencias

(a) Imagen de exploración cerebral de un paciente con negligencia hemiespacial, en la que se observa daño cerebral, el área (en rojo) en el lado derecho del encéfalo. (b) Dibujos de un reloj y una margarita realizados por pacientes con negligencia hemiespacial. (c) Ejemplo de rendimiento en tarea de tachado de líneas realizado por un paciente con negligencia hemiespacial.

# Inserto a color B

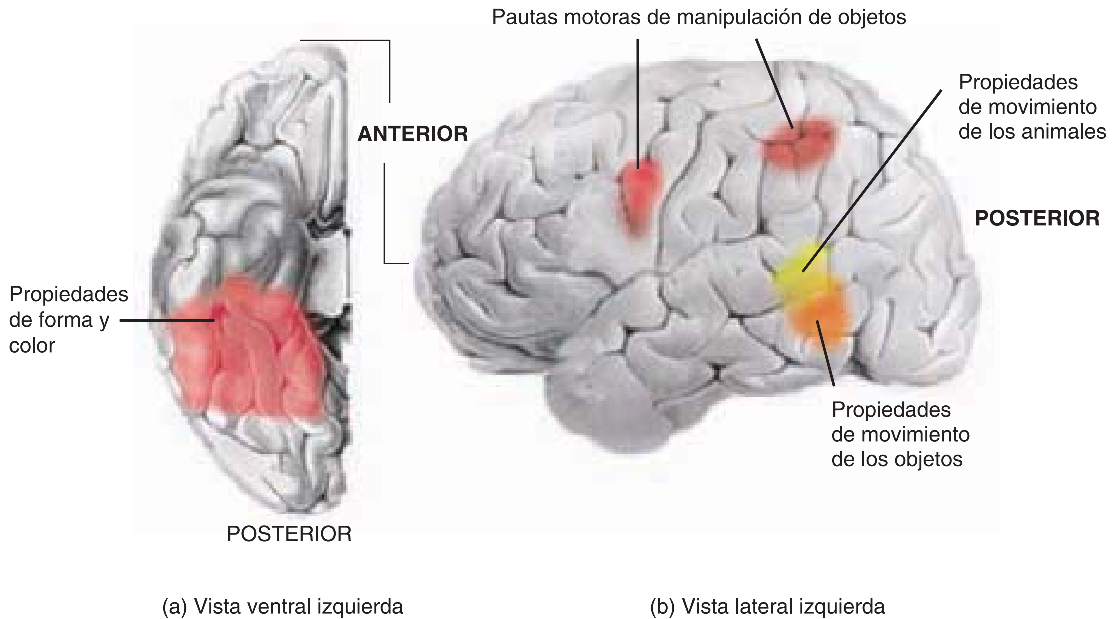



**FIGURA 4-13** Áreas cerebrales activas en el procesamiento de diversos tipos de características de información relativa a las categorías

(a) Áreas cerebrales ventrales, que se extienden desde los lóbulos occipitales a los temporales, se activan cuando se representan características de forma y color. (b) Áreas de las zonas motoras y parietales se activan cuando se representa el conocimiento sobre posible manipulación de los objetos, y áreas temporales posteriores se activan cuando se representan características del movimiento de los objetos. En todos los casos, las áreas en que se representa la cualidad de la información de categorías se superponen con las áreas en que se representan estas características durante la percepción real de los objetos.

(De Martín, A. y Chao, L. (2001). Semantic memory and the brain: structure and process. *Current Opinion in Neurobiology, 11,* pp. 194-201).

# Inserto a color C

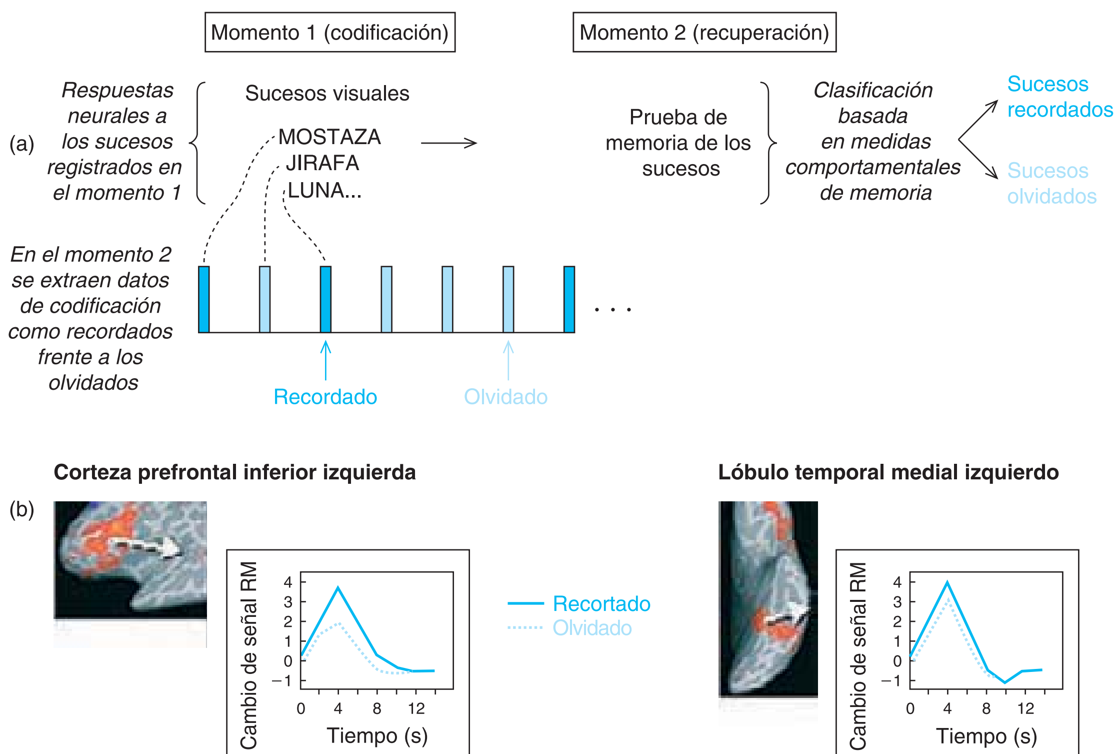



**FIGURA 5-7** Relación entre memoria comportamental y actividad cerebral

(a) Se registran las respuestas neurales durante el procesamiento de ciertos sucesos (en este ejemplo, presentación visual de palabras). Luego se examina la memoria y los sucesos se clasifican como recordados u olvidados más tarde. (b) Se analizan las respuestas neurales durante la codificación basándose en el recuerdo posterior, lo que revela cuáles son los correlatos neurales de la codificación en varias regiones cerebrales. Los datos indican que durante la codificación de sucesos que se recuerdan posteriormente (tono azul oscuro) se producen respuestas mayores que en el caso de sucesos que se olvidan posteriormente (tono azul claro).
(De Paller, K. A. y Wagner, A. D. (2002). Observing the transformation of experience into memory. *Trends in cognitive Science, 6*, 93-102. Datos modificados de Wagner, A. D.; Schacter, D. L.; Rotte, M.; Koutstaal, W.; Maril A.; Dale, A. M.; Rosen, B. R. y Buckner, R. L. 1998. Building Memories: Remembering and Forgetting of Verbal Experiences as Predicting by Brain Activity. *Science, 281*, 118-1191). (Reimpreso con autorización).

# Inserto a color D

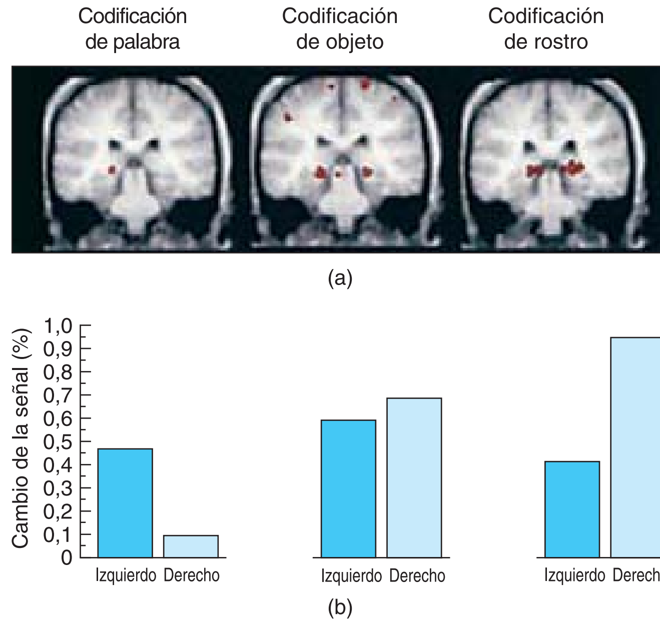



**FIGURA 5-11** La activación de los lóbulos temporales mediales derecho e izquierdo es diferente para los sucesos verbales y los no verbales

(a) Activación del lóbulo temporal medial durante la codificación de palabras, objetos y rostros, demostrada mediante RMf. (b) La magnitud de la activación (medida por el cambio de la señal) se registra gráficamente en cada caso. Obsérvese la significativamente mayor intensidad de la señal en el lóbulo temporal medial izquierdo en comparación con el derecho en el caso de codificación de palabras, y la significativamente mayor en el derecho que en el izquierdo en el de codificación de rostros.

(Kelley, W, M.; Miezin, F. M.; McDermott, K. B.; Buckner, R. L.; Raichle, M. E.; Cohen, N. J.; Ollinger, J. M.; Akbudak, E.; Conturo, T. E.; Snyder, A. Z. y Petersen, S. E. (1998). Hemisferic Specialization in Human Dorsal Frontal Cortex and Medial Temporal Lobe for Verbal and Nonverbal Memory Encoding. *Neuron, 20,* 927-936.) (Reimpreso con permiso de Elsevier).

# Inserto a color E

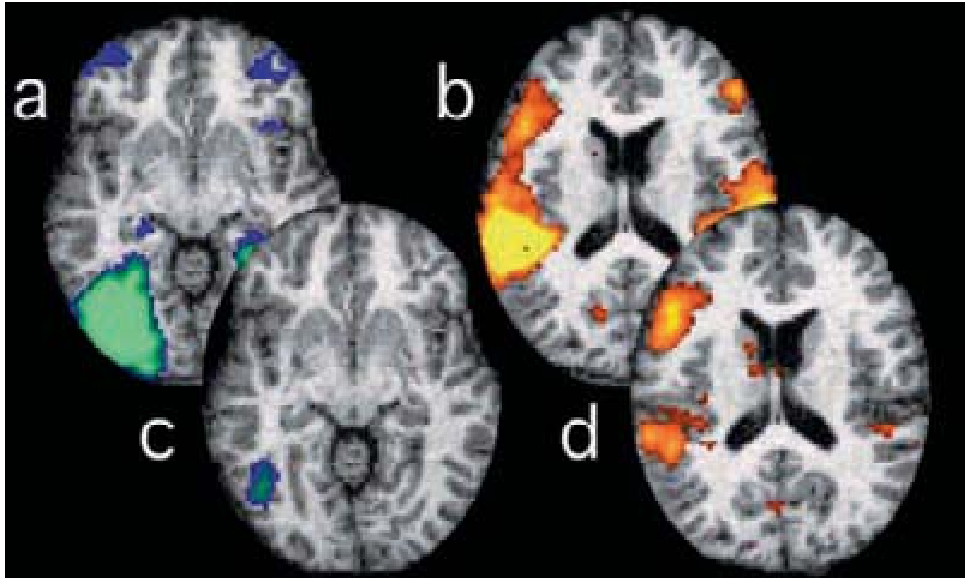


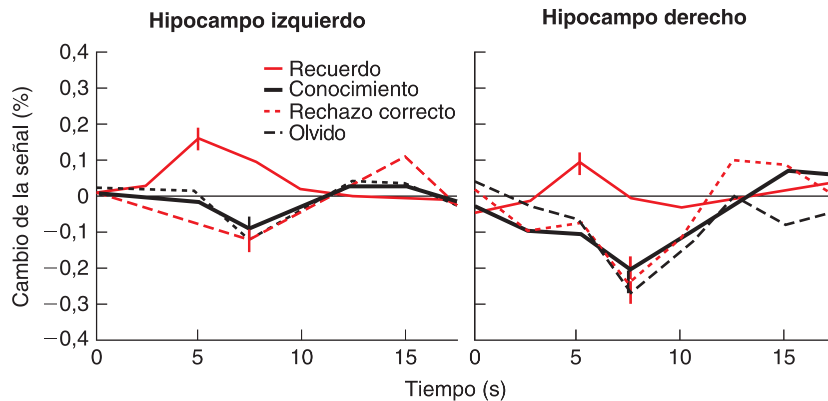

**FIGURA 5-12** Pruebas de RMf de repetición durante recuperación episódica

Durante la codificación, los sujetos estudiaron palabras emparejadas bien con sonidos o bien con imágenes; durante la recuperación, se les pidió que recordaran si una palabra se había asociado previamente con un sonido o con una imagen. Las pruebas de RMf obtenidas muestran regiones del cerebro activas durante la *percepción* de (a) imágenes y (b) sonidos, y regiones activas durante la *recuperación de la memoria* de los mismos (c) imágenes y (d) sonidos. La recuperación de la memoria de las imágenes se asoció con la reactivación de un subconjunto de regiones corticales visuales que se activaron durante la percepción de las imágenes —compárese (c) con (a)—; la recuperación de los sonidos se asoció con la reactivación de las regiones temporales superiores bilaterales que se activaron durante la percepción de sonidos —compárese (d) con (b)—.

(Buckner, R. L. y Wheeler, M. E. (2001). The Cognitive Neuroscience of Remembering. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 624-634. Datos de Wheeler, Petersen y Buckner (2000). Memory's echo: Vivid remembering reactivates sensory-specific cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 97,* 11125-11129.) (Reimpreso con autorización de Elsevier).

# Inserto a color F

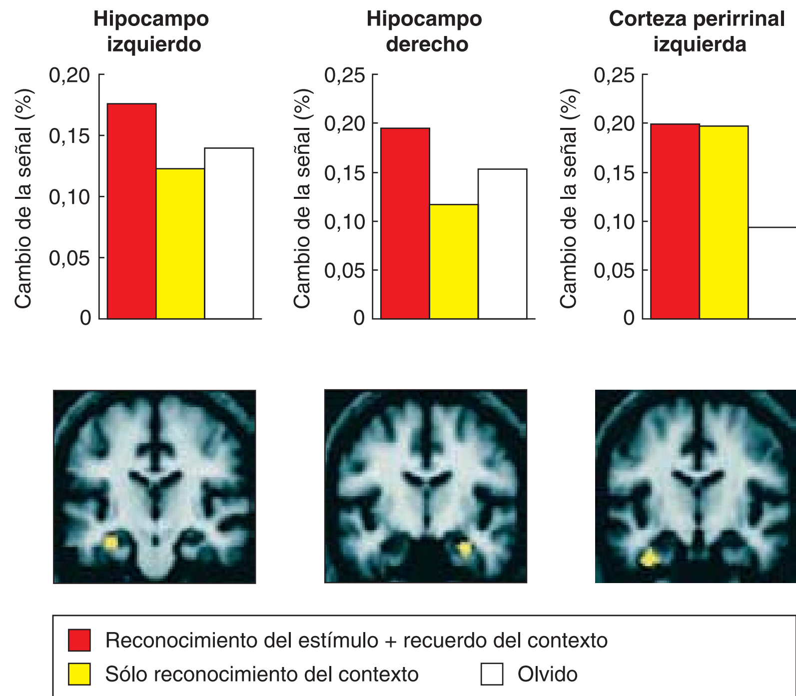





Las imágenes de RMf muestran la localización del hipocampo (resaltado en rojo, en el hemisferio izquierdo). Las gráficas que registran la activación del cerebro muestran una activación mayor durante el reconocimiento acompañado de recuerdo; la activación durante el reconocimiento basado en lo familiar que resulta el estímulo (su «conocimiento») no fue diferente de la que tuvo lugar durante el olvido.

(Eldridge, L. L., Knowlton; B. J.; Furmansky, C. S.: Bookheimer, S. Y. y Engel, S. A. (2000). Remembering episodes: A selective role for the hippocampus during retrieval. *Nature Neuroscience, 3*, 1149-1152). (Reproducido con autorización).

# Inserto a color G




La activación del hipocampo izquierdo y derecho durante la tarea predice el recuerdo posterior del contexto en el que se conoció un estímulo que se reconoce, pero no predice diferencias entre el reconocimiento y el olvido del estímulo. Por lo contrario, la activación de la corteza perirrinal predice si el estímulo será reconocido u olvidado más tarde, pero no predice diferencias en el recuerdo del contexto. Las regiones hipocámpicas y perirrinales se resaltan en amarillo en las imágenes de RMf de la parte inferior de la figura.

(Davachi, L.; Mitchel , J. P. y Wagner, A. D. (2003). Multiples routes to memory: Distinct medial temporal lobe processes build item and source memories. *PNAS, 100,* 2157-2162.) (Reimpreso con autorización).

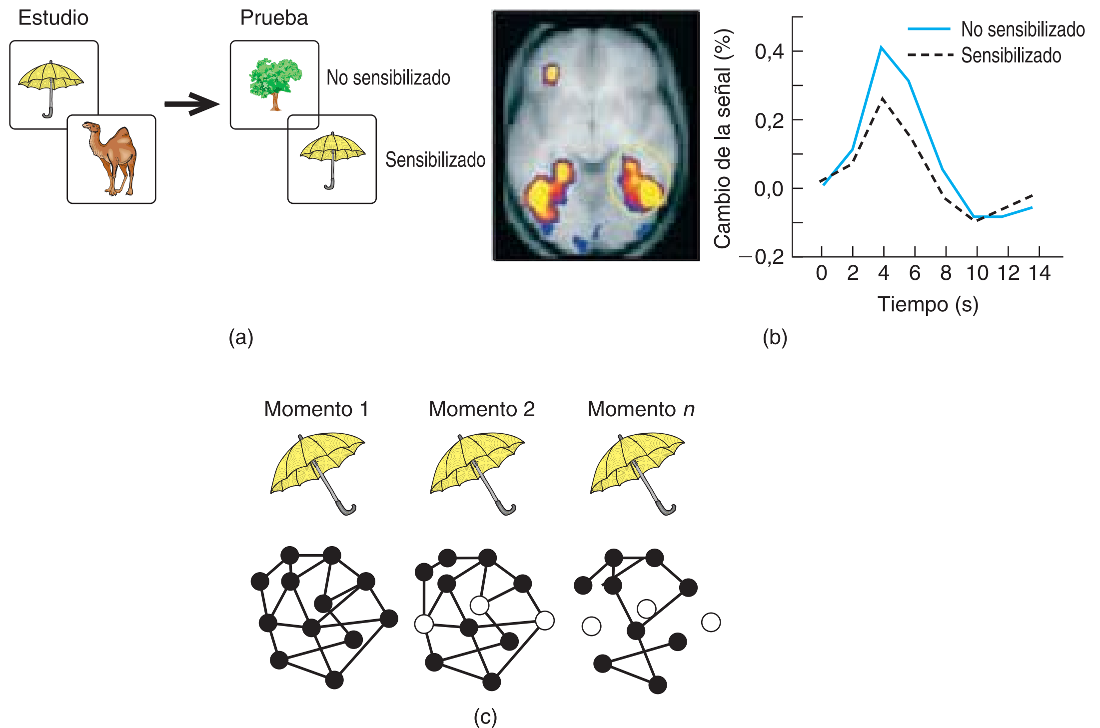



**FIGURA 5-19** *Priming* y sintonización neural

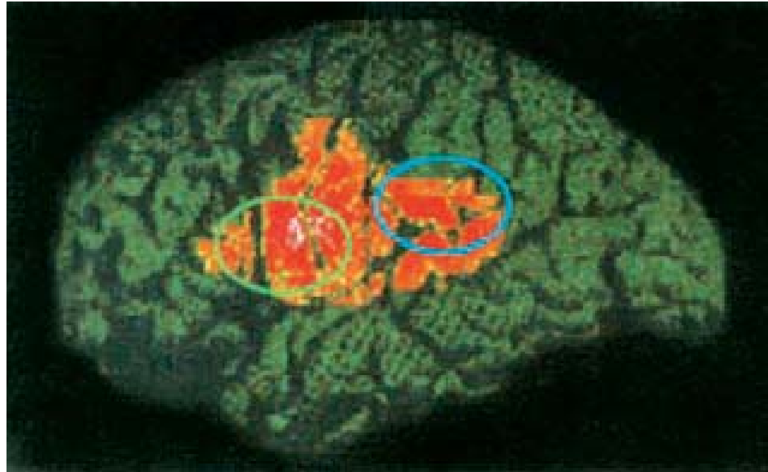
(a) El estudio y los elementos de la prueba: con algunos elementos de la prueba ha habido sensibilización (*priming*), con otros no. (b) Una prueba de RMf habitual del cerebro de un sujeto de experimentación mostró un menor grado de actividad en la corteza fusiforme derecha e izquierda cuando se procesaba un objeto «sensibilizado» (que se había expuesto previamente). La gráfica registra el promedio de la señal de RMf procedente de la corteza fusiforme derecha (marcado con un círculo).

(Wagner, A, D. y Koutstaal, W. Priming. En *Encyclopedia of the Human Brain*, Vol. 4 Elsevier Science, 2002, pp. 27-46, Fig. 2.) (Reimpreso con autorización de Elsevier.)

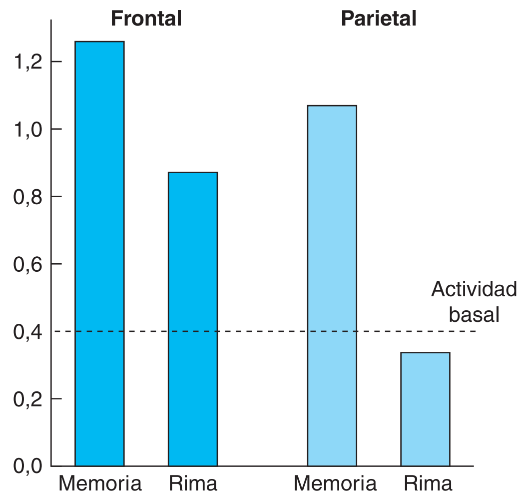
(c) Cambios hipotéticos en una red neural en la que se representan las características de un objeto presentado visualmente, en función de experiencias repetidas. Cuando un objeto se presenta varias veces, las neuronas que codifican las características que no son esenciales para reconocer el objeto disminuyen su respuesta (lo que se representa como cambio de negro o blanco), por lo que se debilitan las conexiones con otras neuronas del grupo (de negro a círculos abiertos y a la falta de líneas de conexión). Como resultado, la red se esparce más y se vuelve más selectiva, lo que resulta en una mejor identificación del objeto.

(Wiggs, C. L. y Martin, A. (1998). Properties and mechanisms of perceptual priming. *Current Opinion in Neurobiology, 8,* 227-233.) (Reimpreso con autorización de Elsevier).

# Inserto a color I



(a)

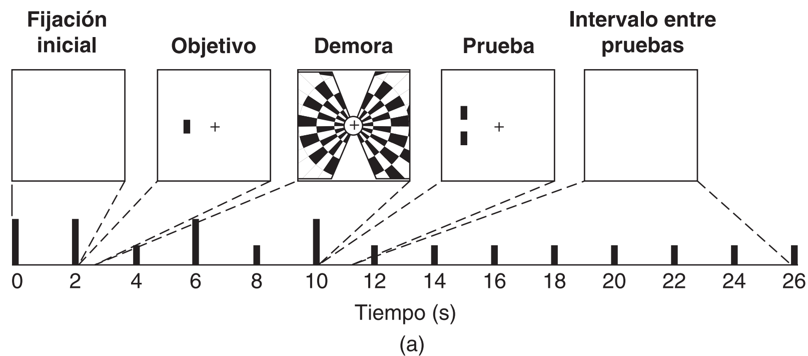



(b)

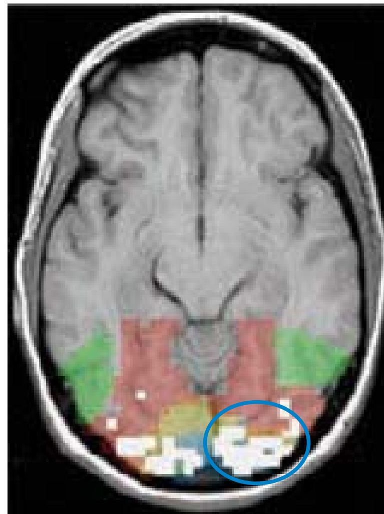
**FIGURA 6-7** Activación cerebral durante la memoria operativa verbal

(a) Activación de la corteza frontal inferior, es decir, del área de Broca (elipse verde) y de la corteza parietal inferior (elipse azul) ante letras en inglés.
(b) La actividad frontal izquierda estuvo por encima de la actividad basal tanto durante una tarea de memoria verbal como durante una tarea de rima. La actividad parietal estuvo por encima de la actividad basal sólo en la tarea de memoria, lo que sugiere que la actividad podría ser específica del almacenamiento fonológico.
(Paulesu, E., Frith, C.D. y Frackowiak, R.S.J. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature, 362*, 342-345. Reproducido con autorización).

# Inserto a color J




(a)



(b)

**FIGURA 6-9** Aumento de la actividad en regiones cerebrales visuales durante una tarea de memoria operativa espacial

(a) La tarea de memoria operativa espacial realizada por los sujetos, que requería recordar la localización de una barra vertical con el fin de juzgar más tarde si estaba a la derecha o a la izquierda de dos barras de ensayo presentadas tras un período de demora. Durante el período de demora se estimuló el sistema visual con una pantalla de tablero de ajedrez centelleante.
(b) Regiones cerebrales visuales con sensibilidad visual en las que aumentó la actividad (áreas en blanco) durante la demora. La activación, marcada con una elipse azul, fue manifiestamente mayor en el hemisferio opuesto al lado de la pantalla en que se presentó la señal (en este ejemplo, el hemisferio derecho), lo que refleja la organización contralateral del cerebro.
(Postle, B.R., Awh, E., Jonides, J., Smith, E:E: y D'Exposito, M. (2004). The where and how of attention-based rehersal in spatial working memory. *Brain Res Cogn Brain Res., 20* (2), 194-205).

# Inserto a color K

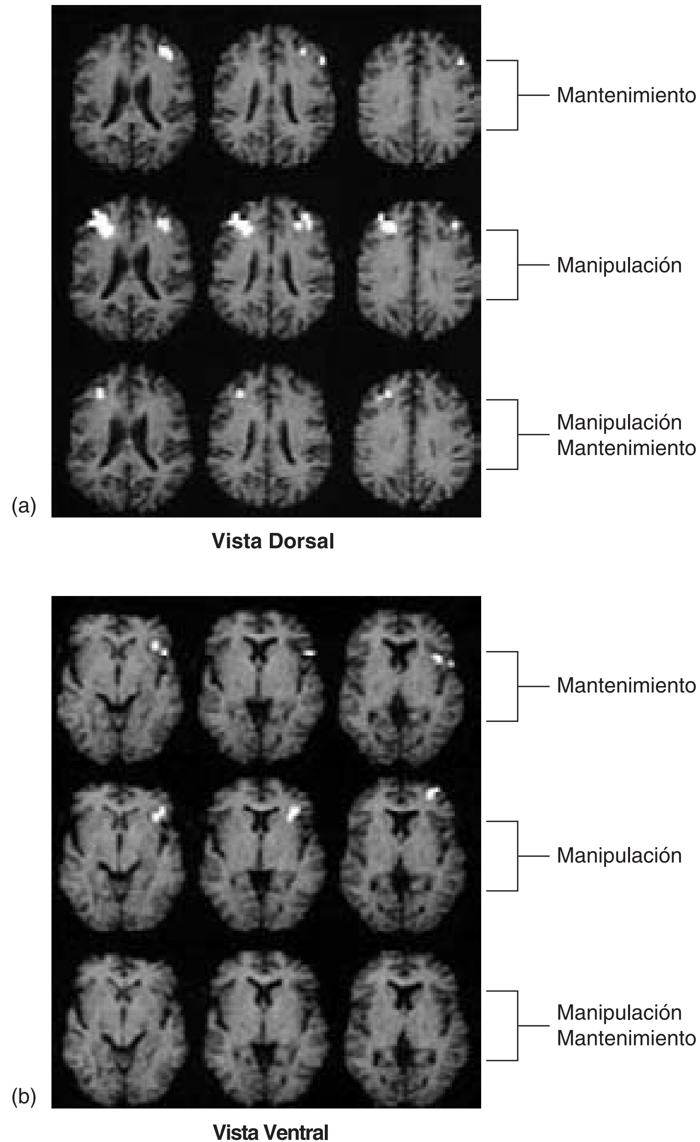



**FIGURA 6-10** Mantenimiento frente a manipulación en la memoria operativa

Estas imágenes de secciones cerebrales de un sujeto que representa a los participantes en un estudio de mantenimiento y manipulación muestran las regiones activas (en blanco) de la corteza prefrontal. La corteza prefrontal ventral se activó tanto durante el mantenimiento como durante la manipulación, pero la corteza prefrontal dorsal lo hizo únicamente durante la manipulación.

(D'Exposito, M., Postle, B.R. Ballard, D. y Lease, J. (1999). Maintenance versus manipulation of information held in working memory: An event-related fMRI study. *Brain and Cognition, 41,* 66-86. Reproducido con autorización).

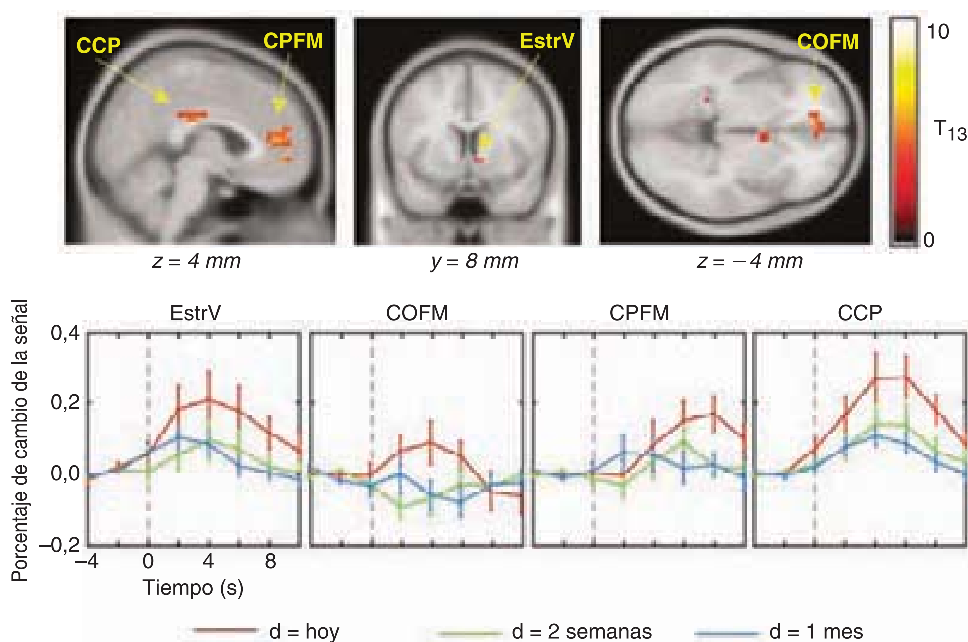



**FIGURA 9-9** Regiones cerebrales que se activan cuando se toman decisiones con las que se puede conseguir dinero inmediatamente

Cuatro regiones que se activaron específicamente cuando se valoraba una consecuencia monetaria inmediata: la región ventral de los cuerpos estriados (EstrV), la corteza orbitofrontal medial (COFM), la corteza prefrontal medial (CPFM) y la corteza cingulada posterior (CCP). Se supone que estas áreas son el sustrato neural del componente emocional de recompensa inmediata del proceso de evaluación. (B) Actividad evaluada mediante RMf en estas cuatro regiones a lo largo del tiempo desde el momento en el que se presentaron por primera vez las opciones de elección (0 en el eje de abscisas) hasta 8 segundos después de la presentación, con curvas separadas para diferentes demoras (d) (inmediata, 2 semanas y 4 semanas). Es evidente que la consecuencia inmediata produce una diferencia distintiva de la actividad mientras se consideran las consecuencias.

(McClure *et al.*, *Science*, *15*, October 2004, Vol. 306, p. 504. www.sciencemag.org. Reproducido con autorización).

# Inserto a color M

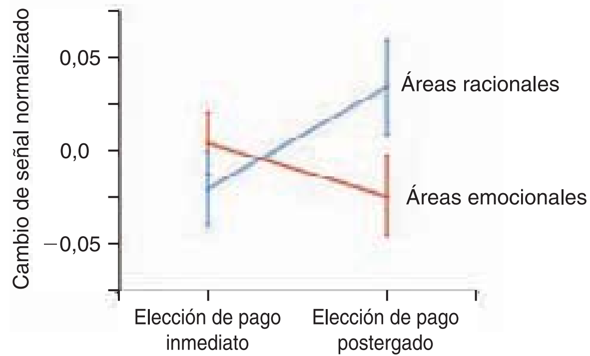



**FIGURA 9-10** Predecir la elección de pequeña recompensa inmediata frente a gran recompensa postergada basándose en la actividad cerebral

Resumen de la relación entre actividad cerebral y elección. Esta gráfica muestra que la decisión que se toma (escoger el abono inmediato frente al abono postergado) puede predecirse por la cantidad de actividad que se registra en las áreas racionales del cerebro en comparación con las emocionales.

(McClure *et al., Science, 15*, October 2004, Vol. 306, p. 506. www.sciencemag.org. Reproducido con autorización).

Inserto a color N

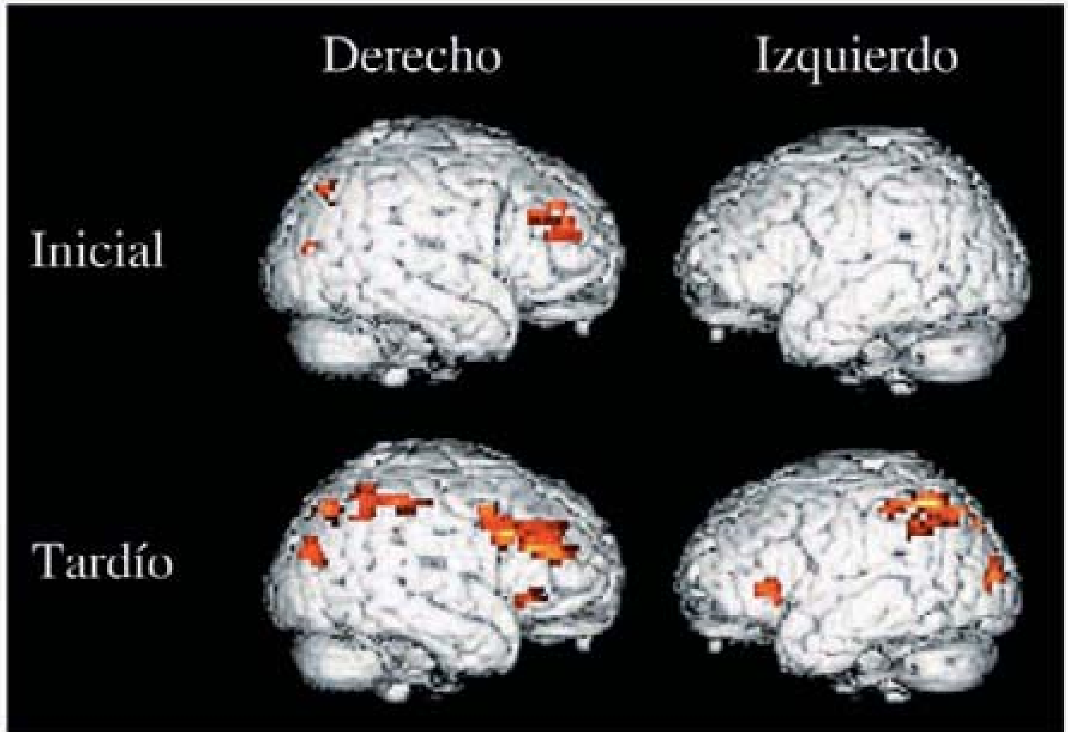
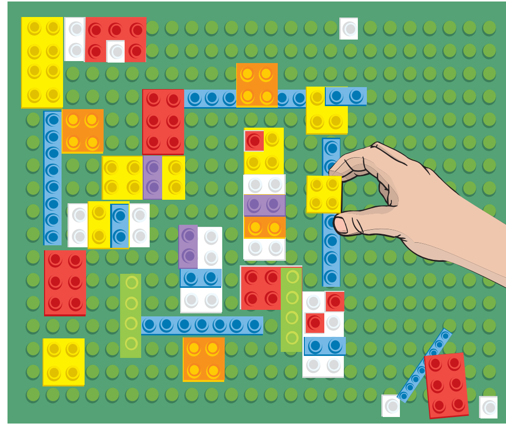



**FIGURA 10-11** Datos de RMf en una tarea de clasificación

La activación durante la tarea de clasificación —catalogar dibujos abstractos— en comparación con la de la tarea antes de iniciar el estudio se restringió a las áreas del hemisferio derecho de los lóbulos frontales y parietales en los ensayos iniciales. Sin embargo, durante los últimos ensayos empezaron a reclutarse regiones de la corteza prefrontal dorsolateral izquierda y de la corteza parietal derecha. Este reclutamiento ulterior del hemisferio izquierdo puede indicar que los sujetos estaban aprendiendo una regla de clasificación verbal.

(Seger, C., Poldrack, R., Prabhakaran, V., Zhao, M., Glover, G. y Gabrieli, J. (2000) Hemispheric asymmetries and individual differences in visual concept learning as measured by functional MRI. *Neuropsychologia, 28*, 1316-1342. Reproducido con autorización de Elsevier).

# Inserto a color O



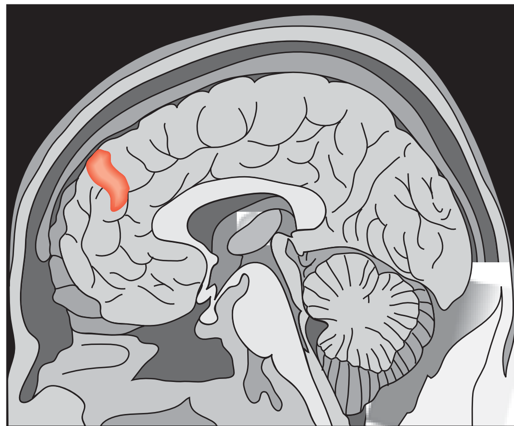
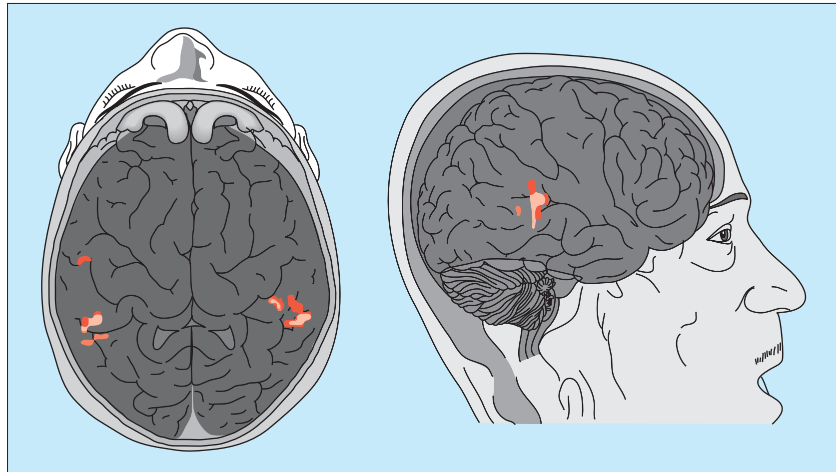


**FIGURA 11-8** ¿El fin justifica los medios?

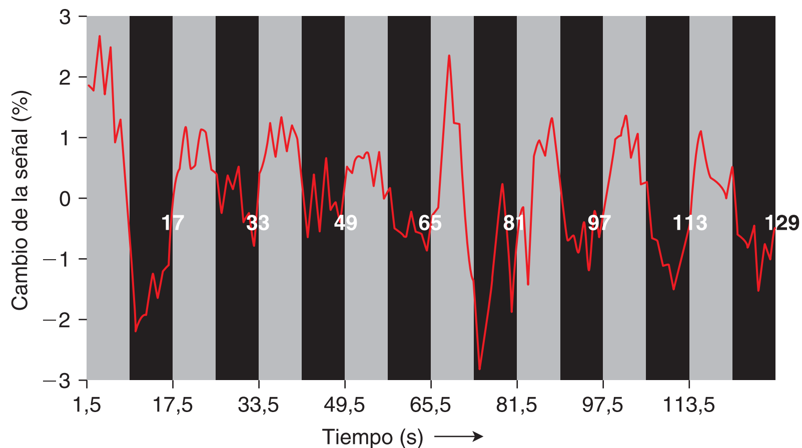
Cuando los sujetos observaron a alguien haciendo una construcción de Lego (*arriba*) con el fin de imitar los actos que se realizaban, pero no sabían cuál era el objetivo de los actos —el modelo final de las piezas—, se observó activación en la corteza prefrontal medial derecha, una región que siempre está implicada en tareas que requieren intuir el estado mental de otras personas (en este caso, supuestamente la intención de montar algo —incluso si no se sabe cuál es la naturaleza específica del objetivo final—).

(Chaminade, T., Meltzoff, A.N. y Decety, I. (2002). Does the end justify the means? A PET exploration of the mechanisms involved in human imitation. *Neuroimage, 12*, 318-328. Reproducido con autorización de Elsevier).

# Inserto a color P



(a)




(b)

**FIGURA 11-10** Datos de RMf: movimiento biológico y cerebro

(a)La percepción de movimientos biológicos activa la región del surco temporal superior (STS), como lo indican estas imágenes de RMf. (b) Cuando se traza la gráfica de los resultados, se observa un aumento de activación (indicada por las barras grises) en las ocasiones en que los sujetos vieron movimientos biológicos, al contrario que las veces en que vieron movimientos «confusos» (barras negras). En el eje *x* se representan el tiempo acumulado en segundos desde el comienzo del experimento y los números en el eje y indican el momento específico en el que se presentaron las secuencias de movimientos biológicos.

(Grossman, E.E. y Blake, R. (2001). Brain activity evoked by inverted and imagined biological motion. *Vision Research, 41*, 1475-1482. Reproducido con autorización de Elsevier).